



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
PRODUÇÃO VEGETAL E BIOPROCESSOS ASSOCIADOS**

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ESPÉCIES ARBÓREAS NA FISIOLOGIA DE
CAFEEIROS E QUALIDADE DE GRÃOS E BEBIDA**

FRANCISCO JOSÉ DA SILVA NETO

**Araras
2019**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
PRODUÇÃO VEGETAL E BIOPROCESSOS ASSOCIADOS**

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ESPÉCIES ARBÓREAS NA FISIOLOGIA DE
CAFEIROS E QUALIDADE DE GRÃOS E BEBIDA**

FRANCISCO JOSÉ DA DILVA NETO

ORIENTADORA: Prof.^a Dr.^a ANASTÁCIA FONTANETTI

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. RODRIGO GAZAFFI

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e Bioprocessos Associados como requisito parcial à obtenção do título de MESTRE EM PRODUÇÃO VEGETAL E BIOPROCESSOS ASSOCIADOS

Araras

2019

Silva Neto, Francisco José da

Distribuição Espacial de Espécies Arbóreas na Fisiologia de Cafeeiros e
Qualidade de Grãos e Bebida / Francisco José da Silva Neto. -- 2019.
136 f. : 30 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, campus
Araras, Araras

Orientador: Anastácia Fontanetti
Banca examinadora: Anastácia Fontanetti; Renata Evangelista de Oliveira;
Veronica Lorena Dóvis
Bibliografia

1. Coffea arabica L.. 2. Arborização de cafezais. 3. Eofisiologia. I.
Orientador. II. Universidade Federal de São Carlos. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Programa de Geração Automática da Secretaria Geral de Informática (SIn).

DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

Bibliotecário(a) Responsável: Maria Helena Sachi do Amaral – CRB/8 7083



Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Francisco José da Silva Neto, realizada em 26/04/2019:

Profa. Dra. Anastacia Fontanetti
UFSCar

Profa. Dra. Renata Evangelista de Oliveira
UFSCar

Profa. Dra. Veronica Lorena DAVIS
IAC

*“There are more things in heaven and Earth, Horatio,
Than are dreamt of in our philosophy”*

William Shakespeare,
(Hamlet. 1. 5. 166–167)

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, pela oportunidade de seguir meus sonhos, mas, ao mesmo tempo, poder contribuir para a construção de um mundo melhor, mais justo e harmonioso.

Ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal e Bioprocessos Associado - PPGPVBA, pela oportunidade e apoio técnico.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), pela bolsa de estudo e financiamento do trabalho – Código de Financiamento 001.

Aos meus familiares e amigos, que enfrentaram comigo sol e chuva para coleta dos dados por todo o apoio, carinho e paciência para que um sem-fim de planilhas pudesse se tornar este trabalho. Em especial a meu pai, Oswaldo, por sua criatividade, minha mãe e irmã, Renata e Carol, pela valentia e força, meus amigos Leila, Brisa e Al, pela disposição plena e ao meu namorado, Bruno, que mais do que segurar a prancheta, tornou essa jornada mais leve.

Aos alunos do Núcleo de Estudos em Agricultura da Conservação - NEPAC, muito numerosos para que se faça justiça, mas que estiveram sempre presentes nesses dois anos de ensaios, ajudando sempre que possível.

Ao senhor Jefferson Adorno e família, proprietários da Fazenda Retiro Santo Antônio, assim como todos os seus funcionários, que se dispuseram, inúmeras vezes, a desviarem de suas rotinas para auxiliar na realização deste trabalho.

Ao meu co-orientador, Prof. Rodrigo Gazaffi, pelos insights e a todos os professores, técnicos administrativos do PPGPVBA e terceirizados da UFSCar que tornaram essa experiência possível.

Finalmente, agradeço imensamente a minha orientada, Prof. Anastácia Fontanetti, por ter aceito enfrentar essa jornada comigo. Por ter compartilhado sua experiência e conhecimentos. Agradeço pelo carinho, atenção e paciência que possibilitaram a criação de algo muito maior do que jamais pensei ser possível.

SUMÁRIO

	Página
ÍNDICE DE TABELAS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE QUADROS	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
INTRODUÇÃO	01
OBJETIVOS	04
REVISÃO DA LITERATURA	05
1 Requerimentos Ambientais e Ecofisiologia do Cafeeiro.....	05
2 Desenvolvimento Fenológico do Cafeeiro.....	07
3 Cafezais Arborizados.....	09
4 Efeito da Distribuição Espacial.....	12
5 Qualidade da Bebida.....	15
LITERATURA CITADA	18
CAPÍTULO 1. Trocas gasosas em Cafeeiros Sombreados em Função da Distribuição Espacial e Espécies Arbóreas	25
1.1 Resumo.....	24
1.2 Introdução.....	26
1.3 Materiais e Métodos.....	28
1.3.1 Caracterização da Área Experimental.....	28
1.3.2 Delineamento Experimental.....	31
1.3.3 Densidade da Copa e Taxa de Contribuição para Cobertura do Dossel.....	32
1.3.4 Trocas gasosas e Radiação Fotossinteticamente Ativa.....	33
1.3.5 Forma de Análise dos Resultados.....	34
1.4 Resultados e Discussão.....	34
1.4.1 Densidade da Copa (CD) e Taxa de Contribuição para Cobertura do Dossel (COR).....	34
1.4.2 Radiação Fotossinteticamente Ativa (<i>PAR</i>).....	37
1.4.3 Temperatura na Câmara de Amostragem (<i>T_{ch}</i>).....	41
1.4.4 Transpiração do Cafeeiro (<i>E</i>).....	42

1.4.5	Taxa de Assimilação de Carbono (A).....	46
1.5	Conclusões.....	48
1.6	Literatura citada.....	49
CAPÍTULO 2. Características Agronômicas e Produtivas de Cafeeiros em Função da Distribuição Espacial de Árvores.....		54
2.1	Resumo.....	54
2.2	Introdução.....	55
2.3	Materiais e Métodos.....	57
2.3.1	Caracterização da Área Experimental.....	57
2.3.2	Avaliação das Características Agronômicas do Cafeeiro.....	58
2.3.3	Colheita, Beneficiamento e Produtividade do Cafeeiro.....	59
2.3.4	Forma de Análise dos Resultados.....	61
2.4	Resultados e Discussão.....	61
2.4.1	Características Agronômicas do Cafeeiro.....	61
2.4.2	Produção de Frutos e Grãos de Café.....	65
2.5	Conclusões.....	70
2.6	Literatura citada.....	71
CAPÍTULO 3. Distribuição Espacial de Árvores e os Efeitos na Fenologia Reprodutiva de Cafeeiros e Qualidade de Bebida.....		76
3.1	Resumo.....	76
3.2	Introdução.....	77
3.3	Materiais e Métodos.....	79
3.3.1	Caracterização da Área Experimental.....	79
3.3.2	Desenvolvimento Fenológico Reprodutivo do Cafeeiro.....	80
3.3.3	Colheita e Beneficiamento do Café.....	81
3.3.4	Qualidade de Frutos, Grãos e Bebida.....	81
3.3.5	Forma de Análise dos Resultados.....	82
3.4	Resultados e Discussão.....	83
3.4.1	Desenvolvimento Fenológico Reprodutivo.....	83
3.4.2	Qualidade de Frutos, Grãos e Bebida.....	90
3.5	Conclusões.....	99
3.6	Literatura citada.....	100
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....		105

APÊNDICE.....	107
---------------	-----

ÍNDICE DE TABELAS

	Página
Capítulo 1	
Tabela 1.1 – Densidade do dossel (CD) e taxa de contribuição para cobertura do dossel (COR) das árvores em função da espécie, distribuição espacial e face de exposição solarem épocas de alta (ADE) e baixa (BDE) demanda energética do cafeeiro. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.....	35
Tabela 1.2 – Radiação fotossinteticamente ativa (PAR) incidente em cafeeiros ‘IAC Obatã’ em função da espécie de sombreamento, distribuição espacial das árvores e face de exposição solar, entre as 11:00 e 13:00 (horas solares) em épocas de baixa (BDE) demanda energética do cafeeiro. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.....	40
Tabela 1.3 – Temperatura da câmara de amostragem (Tch) em cafeeiros ‘IAC Obatã’ em função da espécie de sombreamento, distribuição espacial das árvores e face de exposição solar em épocas de alta (ADE) e baixa (BDE) demanda energética do cafeeiro. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.....	41
Tabela 1.4 – Transpiração (E) de cafeeiros ‘IAC Obatã’ em função da espécie de sombreamento, distribuição espacial das árvores e face de exposição solar em épocas de alta (ADE) e baixa (BDE) demanda energética do cafeeiro. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.....	43
Tabela 1.5 – Taxa de assimilação de carbono (A) de cafeeiros ‘IAC Obatã’ em função da espécie de sombreamento, distribuição espacial das árvores e face de exposição solar, entre as 07:00 e 09:00 (hora solar) em épocas de alta (ADE) e baixa (BDE) demanda energética do cafeeiro. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.....	46

Capítulo 2

Tabela 2.1 – Altura de planta (H) e diâmetro de copa (DC) de cafeeiro ‘IAC Obatã’ em função da espécie arbórea de sombreamento e de sua distribuição espacial no cafezal. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.....	62
Tabela 2.2 – Comprimento de ramo plagiotrópico (CR), número de rosetas por ramo plagiotrópico (R) e distância entre rosetas (DR) de cafeeiro ‘IAC Obatã’ em função da espécie arbórea de sombreamento, de sua distribuição espacial no cafezal e das faces de exposição solar do cafeeiro. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.....	64
Tabela 2.3 – Produção por planta de cafeeiros ‘IAC Obatã’ de frutos cereja, boia e total (cereja + boia) em função das espécies arbóreas e da distribuição espacial no cafezal. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.....	66
Tabela 2.4 – Produção por planta e produtividade por hectare (em kg e sacas de 60Kg) de grãos nos estádios cereja, boia e total (cereja + boia) de cafeeiros ‘IAC Obatã’ em função das espécies arbóreas, distribuição espacial e face de exposição solar no cafezal. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.....	68

Capítulo 3

- Tabela 3.1** – Massa de 1.000 frutos cereja e de 1.000 grãos provenientes de frutos boia e cereja de cafeeiros IAC Obatã, em função das espécies arbóreas, de sua distribuição espacial no cafezal e face de exposição solar. Santo Antônio do Jardim SP, 2018..... 90
- Tabela 3.2** – Retenção de grãos provenientes de frutos boia e cereja nas peneiras em função das diferentes espécie arbóreas de sombreamento, da distribuição espacial no cafezal, face de exposição solar e crivo da peneira nº 18 (18/62”, malha de 7,37mm), 15 (15/62”, malha de 6,15mm) e 12 (12/62”, malha de 4,92mm). Santo Antônio do Jardim, SP, 2018..... 91

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 1	Página
<p>Figura 1.1 – Precipitação pluviométrica (mm), temperaturas média, máxima e mínima (°C) mensal, durante os meses de junho de 2017 e setembro de 2018. Espírito Santo do Pinhal, SP.....</p>	28
<p>Figura 1.2 – Balanço hídrico mensal, entre os meses de junho de 2017 e setembro de 2018. Itupeva, 2018.....</p>	29
<p>Figura 1.3 – Localização e desenho da área experimental, com destaque para os tratamentos. Santo Antônio do Jardim, SP, 2019.....</p>	32
<p>Figura 1.4 – Taxa de contribuição para cobertura do dossel (COR) de árvores em função da espécie e de sua distribuição espacial no cafezal, em época de baixa demanda energética do cafeeiro. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.....</p>	36
<p>Figura 1.5 – Radiação fotossinteticamente ativa (PAR) incidente sobre cafeeiros 'IAC Obatã' em função distribuição espacial de espécies arbóreas entre as 07:00 e 09:00 (horas solares) em época de alta demanda energética do cafeeiro. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.....</p>	37
<p>Figura 1.6 – Radiação fotossinteticamente ativa (PAR) incidente sobre cafeeiros 'IAC Obatã' em função do sombreamento proporcionado por espécies arbóreas e da face de exposição solar, entre as 07:00 e 09:00 (horas solares) em época de baixa demanda energética do cafeeiro. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.....</p>	38
<p>Figura 1.7 – Radiação fotossinteticamente ativa (PAR) incidente sobre cafeeiros 'IAC Obatã' sombreados por espécies arbóreas em função da distribuição espacial e face de exposição solar dos cafeeiros, entre as 11:00 e 13:00 (horas solares) em época de alta demanda energética do cafeeiro. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.....</p>	39

- Figura 1.8** – Transpiração (E) de cafeeiros ‘IAC Obatã’ em função das espécies arbóreas de sombreamento e da distribuição espacial, entre as 11:00 e 13:00 (horas solares) em época de alta demanda energética do cafeeiro em Santo Antônio do Jardim/SP, 2018..... 44
- Figura 1.9** – Transpiração (E) de cafeeiros ‘IAC Obatã’ sombreados por espécies arbóreas nativas em função da distribuição espacial e face de exposição solar dos cafeeiros, entre as 7:00 e 9:00 (horas solares) em época de baixa demanda energética do cafeeiro em Santo Antônio do Jardim/SP, 2018..... 44
- Figura 1.10** – Taxa de assimilação de Carbono (A) de cafeeiros ‘IAC Obatã’ sombreados por árvores nativas em função da espécie de sombreamento e sua distribuição espacial no cafezal entre as 11:00 e 13:00 (horas solares) em época de baixa demanda energética do cafeeiro em Santo Antônio do Jardim/SP, 2018..... 47
- Figura 1.10** – Taxas de assimilação de Carbono (A) de cafeeiros em função da espécie de sombreamento, sua distribuição espacial no cafezal e face de exposição solar do cafeeiro entre as 7:00 e 9:00 (horas solares) em época de baixa demanda energética do cafeeiro em Santo Antônio do Jardim/SP, 2018.... 48

Capítulo 2

- Figura 2.1** – Colheita por derricha manual sob peneira (a. e b.) e Secagem em terreiro de cimento de frutos de cafeeiro em sacos Raschel, após separação em cereja e boia (c.). Santo Antônio do Jardim, SP, 2018..... 60
- Figura 2.2** – Diâmetro do ramo ortotrópico do cafeeiro ‘IAC Obatã’ em função da espécie arbórea de sombreamento, de sua distribuição espacial no cafezal e das faces de exposição solar do cafeeiro. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.. 63
- Figura 2.3** – Produtividade de grãos boia (sacas ha⁻¹) de cafeeiros ‘IAC Obatã’ em função da distribuição espacial das espécies arbóreas no cafezal e da face de exposição solar. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018..... 69
- Figura 2.4** – Produtividade de grãos boia (saca ha⁻¹) de cafeeiros ‘IAC Obatã’ em função da espécie arbórea e de sua distribuição espacial no cafezal. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018..... 70

Capítulo 3

- Figura 3.1** – Desenvolvimento fenológico de cafeeiros ‘IAC Obatã’ sombreados por *Anadenanthera falcata*, *Cassia grandis* e *Peltophorum dubium* em função da distribuição espacial, com face de exposição solar ao norte (N) e ao sul (S). Santo Antônio do Jardim, SP, 2018..... 89
- Figura 3.2** – Taxa de retenção em porcentagem nas peneiras ≥ 18 , entre 15-17, 12-14 e < 12 de grãos boia provenientes de cafeeiros ‘IAC Obatã’ sombreados por *P. dubium*. em função da sua distribuição espacial no cafezal. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018..... 92
- Figura 3.3** – Taxa de retenção em porcentagem nas peneiras ≥ 18 , entre 15-17, 12-14 e < 12 de grãos boia provenientes de cafeeiros ‘IAC Obatã’ sombreados por *P. dubium*. em função da face de exposição solar do cafeeiro. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018..... 93
- Figura 3.4** – Análise de componentes principais em função da espécie de sombreamento e da distribuição espacial dos cafeeiros em relação ao tronco das árvores para grãos provenientes de frutos boia. destaca em azul as classes geradas pela análise de agrupamento hierárquico de componentes principais (HCPC)..... 95
- Figura 3.5** – Análise de componentes principais em função da espécie de sombreamento e da distribuição espacial dos cafeeiros em relação ao tronco das árvores para grãos provenientes de frutos cereja. destaca em azul as classes geradas pela análise de agrupamento hierárquico de componentes principais (HCPC)..... 98

ÍNDICE DE QUADROS

	Página
Capítulo 1	
Quadro 1.1 – Valores médios do diâmetro a altura do peito (DAP), altura total (H) e caracterização do formato da copa das espécies arbóreas do experimento. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.....	30

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ESPÉCIES ARBÓREAS NA FISIOLOGIA DE CAFEEIROS E QUALIDADE DE GRÃOS E BEBIDA

Autor: FRANCISCO JOSÉ DA SILVA NETO

Orientador: Prof.^a Dr.^a ANASTÁCIA FONTANETTI

Co-orientador: Prof. Dr. RODRIGO GAZAFFI

RESUMO

O café é uma das principais commodities agrícola brasileiras. As eminentes emergências climáticas e transformações do mercado consumidor, têm aumentado o cultivo de café sombreado, uma vez que as árvores protegem os cafeeiros de variações ambientais e podem melhorar a qualidade da bebida gerada. A distribuição espacial e a espécie arbórea empregada alteram os níveis de sombreamento e competição interespecífica, modificando as respostas produtivas do cafeeiro. Objetivou-se avaliar o efeito das espécies de sombreamento e sua distribuição espacial em cafezal arborizado na fisiologia do cafeeiro, produção e qualidade de grãos e bebida. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com três repetições em esquema de parcelas sub-subdivididas. As parcelas corresponderam à espécie de sombreamento (*Anadenanthera falcata*, *Cassia grandis* e *Peltophorum dubium*), as subparcelas à cinco distâncias em relação aos troncos das árvores (cafeeiros localizados na linha de plantio das árvores, a um metro e cinco metros (D1L e D5L); cafeeiros localizados na entrelinha de plantio das árvores, paralelos a D1L e D5L (D1E e D5E); e cafeeiros localizados a 77 metros do tronco das árvores (PS), incidindo em um talhão a pleno sol, as sub-subparcelas corresponderam as faces de exposição dos cafeeiros, norte e sul. Entre os meses de junho/2017 e julho/2018 avaliou-se o desenvolvimento fenológico reprodutivo dos cafeeiros. Em abril/2018 e setembro/2018 foram avaliados a densidade do dossel das árvores, com densiômetro convexo, as trocas gasosas do cafeeiro e a radiação fotossinteticamente ativa (*PAR*), com analisador de gases no infravermelho, nos períodos entre 07:00-9:00h e 11:00-13:00h. Antecedendo a colheita em julho/2018 foram avaliados a altura de planta, diâmetro da copa e do ramo ortotrópico principal, comprimento de ramo plagiotrópico, número e distância entre rosetas do cafeeiro. A produtividade foi expressa em frutos

por planta e grãos por hectare. Após beneficiamento, foram avaliadas massa de mil frutos cereja, massa de mil grãos, retenção em peneiras, porcentagem dos defeitos (grãos ardidos, brocados, pretos ou verdes) e a qualidade da bebida pela prova da xícara. A densidade e ocupação do dossel não é homogênea ao longo do ano e sofre alterações em função da distribuição espacial das árvores no cafezal. As árvores reduzem a *PAR* para níveis mais propícios ao aproveitamento do cafeeiro, principalmente na linha de plantio das árvores. A proximidade do tronco das árvores de sombreamento resulta em redução da temperatura da câmara de amostragem. Cafeeiros em PS têm maior transpiração que os sombreados e sofrem maiores reduções na taxa de assimilação de carbono ao longo do dia. Cafeeiros sob *P. dubium* apresentaram maior altura e diâmetro de copa. O diâmetro do ramo ortotrópico aumentou com o distanciamento do tronco de *A. falcata*. A distância entre as rosetas, foi menor em PS e maior em D1L. As espécies arbóreas não afetaram a massa e o volume de frutos por planta de cafeeiro ou a produtividade. Entretanto, em D1L e D5L a produção de frutos foi inferior que em PS. A face de exposição solar norte apresentou ramos menores, maior produção de frutos boia e menor de frutos cereja. *P. dubium* apresentou menor potencial de competição com o cafeeiro. O estresse hídrico entre junho e setembro de 2017 homogeneizou a floração do cafeeiro. Na localização D1L a diferença na velocidade de maturação dos frutos entre as faces norte e sul foi atenuada, beneficiando uma colheita homogênea. Cafeeiros sombreados por *Cassia grandis* apresentaram maior massa de grãos. O sistema a pleno sol produziu grãos menores e mais leves.

Palavras-chave: Arborização de cafezais; *Coffea arabica* L.; Ecofisiologia; Sistemas Agroflorestais; Taxa de assimilação de carbono.

SHADE TREES SPATIAL DISTRIBUTION ON COFFEE BUSHES PHYSIOLOGY AND BEANS QUALITY

Author: FRANCISCO JOSÉ DA SILVA NETO

Adviser: Prof.^a Dr.^a ANASTÁCIA FONTANETTI

Co-adviser: Prof. Dr. RODRIGO GAZAFFI

ABSTRACT

Coffee is an important Brazilian commodity. With global climatic changes and consuming market evolution. Shading coffee bushes is gaining notoriety, once shade trees protect coffee bushes from environmental variations and may increase coffee quality. Spatial distribution and shade trees species alter shade and interspecific competition levels, changing coffee bushes responses. This work aims to access shade trees spatial distribution and species effects on physiology and production of 'IAC Obatã' coffee, as well as beans and cup quality. The experimental design consisted of randomized blocks with tree repetitions in split-split-plots. Shade trees species formed the plots (*Anadenanthera falcata*; *Cassia grandis*; e *Peltophorum dubium*). Split-plots consisted of five distances from shade trees trunks (coffee bushes on shading trees planting rows, distancing one or five meters from the trunk (D1L and D5L); coffee bushes on shading trees between-rows, parallel to D1L and D5L (D1E and D5E); and PS, coffee bushes distancing 77 meters form shading trees trunks, inflicting on a full sun field). Split-split-plots were due to coffee bushes canopy exposure to the sun (branches facing north or south). Between June/2017 and July/2018 coffee bushes reproductive phenological state was accessed. In April/2018 and September/2018 shading trees overstory density and gases exchanges were estimated with a convex densimeter and an Infrared Gas Analyzer, between 07:00-09:00h and 11:00-13:00h. The equipment registered photosynthetic active radiation (*PAR*) and gas exchanges. Before harvesting in July/2018, coffee bushes height, canopy diameter, orthotropic brunch diameter, plagiotropic branch length, number and distance between berries rosettes. Yield was expressed in berries (liters) and beans

(kilograms). After processing, berries mass, beans mass, sieve retention, beans defects rate and beverage quality were evaluated. Canopy density was not homogenous during the seasons and shifted due to shading trees spatial distribution. *PAR* was reduced by shade trees to more suitable levels for coffee bushes, specially on shade trees planting rows. The proximity to shade trees trunk decreased analysis chamber temperature. Coffee bushes transpiration as decreases in carbonic assimilation rate during the day was greater in PS. Coffee bushes shaded by *P. dubium* were taller and wider. Under *A. falcata*, coffee bushes' orthotropic brunch diameter decreased due to proximity to the trunk. Berries rosettes distancing was smaller in PS and larger in D1L. Barry production was inferior in D1L and D5L than in PS. Coffee brunches facing north were smaller, bore more floaters and less cherries. *P. dubium* showed less competition with coffee bushes. The severe water shortage between July and September of 2017 homogenized blossom. In D1L maturation speed differences between branches facing north and south were reduced and favored a better harvesting. Coffee beans shaded by *C. grandis* were denser. In PS coffee beans were smaller and lighter.

Keywords: Agroforestry Systems; Arborized coffee fields; *Coffea arabica* L.; Carbon assimilation rate; Ecophysiology.

INTRODUÇÃO

No Brasil as lavouras cafeeiras ocupam 2,16 milhões de hectares, destes 84,2% são produtivos (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, CONAB, 2019). A espécie *Coffea arabica* L. é a mais cultivada, 1,75 milhões de hectares, correspondendo à 81% da área plantada. Estima-se que foram colhidas 61,7 milhões de sacas de 60 Kg de café arábica beneficiado em 2018 (CONAB, 2019). Também no ano de 2018, o Brasil exportou aproximadamente 28,04 milhões de sacas de café arábica, gerando US\$ 4,24 bilhões em receita para o país (CONSELHO DOS EXPORTADORES DE CAFÉ DO BRASIL, CECAFÉ, 2018)

A espécie *C. arabica* é originária das terras altas da Etiópia (DaMATTA, 2004), proveniente do sub-bosque (DaMATTA et al., 2007). Como consequência da adaptação da espécie a ambientes sombreados, o cafeeiro apresenta baixa capacidade fotossintética quando cultivado a pleno sol (RONQUIM, 2007). A PAR (radiação fotossinteticamente ativa) incidente sob cafeeiros, quando cultivado a pleno sol, é de aproximadamente $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (TAIZ et al., 2017), sendo que a saturação luminosa das folhas ocorre entre 300 e $700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (DaMATTA, 2004). Dessa forma, elevadas incidências luminosas podem gerar danos aos fotossistemas (TAIZ et al., 2017), principalmente se associadas às elevadas temperaturas (ALVARENGA et al., 2004; CAMARGO, 2010). Ao contrário, quando o cafeeiro é cultivado sombreado podem ocorrer melhoras nas taxas de fotossíntese (KUMAR;

TIESZEN, 1980), aumento da longevidade da lavoura (VAAST et al., 2006) e menor efeito da bienalidade produtiva (JARAMILLO-BOTERO; MARTINEZ; SANTOS, 2010).

O sombreamento também pode contribuir para a melhoria da qualidade da bebida, pelo aumento do tamanho dos grãos (VAAST et al., 2005), pois a redução na carga produtiva por planta em condições sombreadas permite maior translocação de fotoassimilados para cada fruto individualmente, possibilitando aumento em sua massa (VAAST et al., 2006) e tamanho (MUSCHLER, 2001). Além disso, o sombreamento pode reduzir as temperaturas do ar, solo, filoplano (RICCI et al., 2013) e as amplitudes térmica (BEER et al., 1998) na lavoura, diminuindo a velocidade da maturação dos frutos (MUSCHLER, 2001), fato que colabora para aumentar o número de frutos no estágio cereja no momento da colheita e, de acordo Giomo (2012), com o acúmulo de compostos químicos desejados.

No Brasil, na atualidade, o aumento na demanda por cafés especiais, com qualidade de bebida superior, associado à necessidade de enfrentamento das mudanças climáticas e a conscientização quanto aos impactos ambientais das atividades agrícolas têm estimulado a implantação de cafeeiros em sistemas arborizados.

Porém, o arranjo e as espécies arbóreas utilizadas no consórcio com os cafeeiros alteram os níveis de sombreamento e a competição interespecífica. Em condições de sombreamento intenso o cafeeiro tem mais estímulo para o crescimento vegetativo, resultando em menor emissão de gemas florais (DaMATTA et al., 2007), acarretando perdas de produtividade. Já em sistemas com até 35% de sombreamento, denominados de sistemas arborizados (ALVARENGA et al., 2004; RICCI et al., 2013), as condições ambientais são consideradas ideais para o desenvolvimento do cafeeiro (BALIZA et al., 2012) não acarretando em reduções significativas na produtividade.

Por outro lado, quando ocorre baixa ocupação do solo pelo componente arbóreo, as condições microclimáticas dentro do talhão de cafeeiros sombreado não são homogêneas. Nesse caso, a distribuição espacial das árvores altera os fatores de produção como a luz, a água e os nutrientes dentro do talhão e conseqüentemente a intensidade da competição interespecífica.

Os efeitos da falta de homogeneidade dentro do cafezal arborizado foram relatados para o desenvolvimento fenológico (PEZZOPANE et al., 2007; RICCI et al., 2011; SILVA NETO et al., 2018), produtividade (FERREIRA, 2017; PEZZOPANE et

al., 2007), qualidade de grãos (MUSCHLER, 2001) e bebida (SILVA NETO et al., 2018; VAAST et al., 2006) e radiação incidente (PEZZOPANE et al., 2011).

A espécie arbórea também altera a interceptação de *PAR* (COELHO et al., 2010), as taxas evaporativas do cafeeiro (PADOVAN et al., 2018; PADOVAN et al., 2015), a temperatura do ar (RICCI et al., 2013; VALENTINI et al., 2010), do solo e das amplitudes térmicas, podendo reduzir ou aumentar os efeitos da falta de homogeneidade nos talhões de cafeeiros arborizados.

Estudar a distribuição espacial e as espécies arbóreas utilizadas para o sombreamento do cafezal pode contribuir para definir desenhos de sistemas agroflorestais mais eficientes, melhorando a homogeneidade dos fatores de produção e reduzindo a competição interespecífica dentro do talhão, com reflexos positivos na produtividade e qualidade de grãos e bebida.

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência da distribuição espacial e das espécies de árvores, utilizadas para o sombreamento, na fisiologia do cafeeiro, produção e qualidade de grãos e bebida.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Capítulo 1

Avaliar a interceptação da radiação fotossinteticamente ativa pelas espécies arbóreas em função da ocupação do dossel e de sua distribuição espacial.

Determinar os efeitos da espécie arbórea de sombreamento e de sua distribuição espacial nas trocas gasosas de cafeeiros IAC 'Obatã' em época de crescimento de alta e baixa demanda energética da planta.

Capítulo 2

Determinar os efeitos da espécie arbórea de sombreamento e de sua distribuição espacial nas características agronômicas de cafeeiros 'IAC Obatã', na produção de frutos e produtividade de grãos.

Capítulo 3

Determinar os efeitos da espécie arbórea de sombreamento e de sua distribuição espacial na qualidade de grãos de café 'IAC Obatã' e da bebida gerada

REVISÃO DA LITERATURA

1. Requerimentos Ambientais e Ecofisiologia do Cafeeiro

O *C. arabica* tem como centro de origem as matas densas das terras altas etíopes, entre as latitudes de 6 e 9°N e altitudes entre 1.600 e 2.000m, onde a planta ocupa até hoje o estrato de sub-bosque. A região apresenta temperaturas médias e precipitações anuais entre 15 e 20°C e 1600-2000mm, respectivamente (CARR, 2001).

Em relação ao comportamento ecofisiológico do *C. arabica*, a taxa máxima de fotossíntese ocorre em temperaturas próximas à 20°C (DaMATTA, 2004), tendo a eficiência reduzida a partir dos 24°C e insignificante aos 34°C. Também, quando as temperaturas médias são superiores a 23°C há aceleração no desenvolvimento dos frutos de café, reduzindo a qualidade dos mesmos (CAMARGO, 1985). Isso ocorre porque os frutos recebem menos assimilados (SILVA, 2010), o que resulta em grãos menores (MUSCHLER, 2001), com desbalanço dos compostos químicos desejados (GIOMO, 2012).

No outro extremo, o cafeeiro é extremamente sensível a geadas e em temperaturas inferiores a 12°C o crescimento e desenvolvimento são reduzidos (CARR, 2001). Temperaturas inferiores a 18°C retardam a maturação dos frutos, que pode finalizar após a florada do ano seguinte (CAMARGO, 1985), também reduzindo

a qualidade dos grãos, por proporcionar colheita desuniforme, frutos em vários estádios de desenvolvimento (GIOMO, 2012).

O ponto de saturação luminosa do cafeeiro varia entre 300 e 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (DaMATTA, 2004). Segundo Kumar e Tieszen (1980) cafeeiros sombreados alcançam o ponto de saturação luminosa em concentrações de luz próximas de 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, mas apresentam taxas fotossintéticas superiores aos de cafeeiros cultivados a pleno sol, que saturam próximos de 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, fato que, os autores ressaltam, corresponde a somente $\frac{1}{4}$ da intensidade luminosa de dias de céu limpo.

As taxas de fotorrespiração do *C. arabica*, aumentam com a elevação da temperatura foliar, visto que a fotossíntese bruta é reduzida inicialmente pelo fechamento estomático e redução do carbono interno e, em casos extremos, pelo impedimento da atividade enzimática, enquanto que o ponto de compensação de gás carbônico (CO_2) se eleva, resultando em seu acúmulo e na redução da eficiência fotossintética (ALVARENGA et al., 2004).

Além disso, condições de alta luminosidade geram sobrecarga de energia ao cafeeiro, aumentando a temperatura foliar, uma vez que a energia não utilizada pelos fotossistemas é transformada principalmente em calor (TAIZ et al., 2017). Nesse caso, a temperatura das folhas do cafeeiro pode ser igual ou superior a 40°C (CAMARGO, 2010), reduzindo a eficiência fotossintética por diminuir as atividades enzimáticas, podendo gerar danos permanentes aos fotossistemas (ALVARENGA et al., 2004; CAMARGO, 2010; DaMATTA, 2004).

A sobrecarga de energia da folha e consequente aquecimento resultam na redução da condutância foliar global (ALVARENGA et al., 2004), limitando o processo fotossintético em situações de estresse hídrico, devido ao fechamento dos estômatos (CAMARGO, 2010).

O *C. arabica* necessita de precipitações anuais superiores a 1.200mm, porém inferiores a 2.000mm. Precipitações fora dessa faixa acarretam severas perdas de produtividade (DaMATTA et al., 2007). Déficits hídricos no florescimento, principalmente se associados com altas temperaturas, levam ao aborto (DaMATTA; RAMALHO, 2006) e malformação de flores (CAMARGO; CAMARGO, 2001). Entretanto, é desejável um período de estresse hídrico no início do mês de maio, o que sincroniza a floração e uniformiza a maturação dos frutos (MATIELLO et al., 2005), com duração entre um e quatro meses (CARR, 2001), permitindo melhor colheita e qualidade superior do produto final (MATIELLO et al., 2005).

No Brasil, o zoneamento agroclimático restringe o cultivo de café em regiões com probabilidade de geada menor que 25%, temperatura média entre 18 e 22°C para café irrigado e temperatura média até 23°C e deficiência hídrica menor que 150mm para cultivo de sequeiro (ASSAD et al., 2004).

2. Desenvolvimento Fenológico do Cafeeiro

O cafeeiro é uma planta arbustiva de caule lignificado, lenhoso e ereto, que possui ramos dimórfico. O dimorfismo resulta da orientação de crescimento dos ramos. Ramos que crescem verticalmente são chamados de ortotrópicos, estes ramos não produzem gemas reprodutivas. As brotações que partem do ramo ortotrópico e crescem no sentido horizontal são denominados plagiotrópicos. São nestes ramos, na axila das folhas que se formam as gemas florais responsáveis pela reprodução do cafeeiro (MATIELLO et al., 2005).

O cafeeiro leva dois anos para completar um ciclo fenológico. No Brasil, o primeiro ano fenológico inicia-se no mês de setembro e corresponde ao período de formação dos ramos vegetativos, com o desenvolvimento das gemas foliares. Esse período estende-se até que, após o equinócio de outono, em abril, as gemas foliares secundárias são induzidas a gemas florais (CAMARGO; CAMARGO; 2001).

No desenvolvimento inicial as gemas florais possuem reduzido crescimento, entre quatro e seis milímetros, antes de ficarem dormentes (CARR, 2001), posteriormente passam ainda por um estado quiescente com duração variável entre as gemas na mesma planta, em função de estímulos tanto endógenos quanto exógenos (DaMATTA et al., 2007). A quiescência é superada quando a produção de ácido giberélico supera a alta concentração de ácido abscísico produzido na gema durante o crescimento inicial (CARR, 2001). Nesse ponto, o fornecimento de água via irrigação ou pela retomada das chuvas provoca a antese em aproximadamente duas semanas (MATIELLO et al., 2005). Na ausência de um período de estresse hídrico extensivo, é comum que a planta tenha quatro ou mais floradas principais.

A antese ocorre no início do segundo ano fenológico, juntamente com um novo ciclo vegetativo (CAMARGO; CAMARGO, 2001). Após a floração, os frutos passam por um estágio de aparente estagnação do crescimento, quando são denominados de chumbinho, seguida de uma rápida expansão, por até 10 semanas, e, posteriormente, de crescimento lento, durando somente duas semanas, onde o tamanho final dos frutos são atingidos (DaMATTA et al., 2007). Procede-se a granação e maturação dos

frutos (CAMARGO; CAMARGO, 2001). Se não colhidos, os frutos começam a degradar e perder umidade ainda ligados a planta mãe (PEZZOPANE et al., 2003), finalizando o ciclo fenológico reprodutivo do cafeeiro. Entretanto, Camargo e Camargo (2001) destacam ainda uma última fase de importância para o fim do ciclo, no qual ocorre a morte dos ramos produtivos não primários, período conhecido como auto poda.

As datas precisas na qual o cafeeiro passa de uma fase a outra e sua duração são fortemente influenciadas pelas condições ambientais e genética da planta (DaMATTA et al., 2007). Entre os fatores ambientais, pode-se destacar a influência da temperatura, luminosidade, umidade do solo e relativa do ar (CARVALHO, 2007; DaMATTA et al., 2007). Quanto a genética, as variedades são classificadas como de ciclo muito precoce (a exemplo da 'Tupi' e 'IPR98'), precoce ('Bourbon Amarelo'), médio ('Mundo Novo' e 'Rubi'), tardio ('Catuaí') e muito tardio ('Obatã') (CARVALHO, 2007).

Devido ao forte controle do império Otomano sobre o cultivo de café até o século XVII, a maioria das variedades tradicionais desenvolvidas pelos europeus é o resultado do cruzamento de plantas provenientes de um número muito restrito de indivíduos (PENDERSGAST, 1999). O que resultou em uma base genética estreita para o *C. arabica*. No Brasil, as cultivares que originaram todas as demais são provenientes de dois grupos principais: o *Típica*, proveniente de grãos contrabandeados da Guiana Francesa para o norte do Brasil por Francisco de Melo Palheta, em 1727, e que se espalhou pelo país e deu origem aos cultivos iniciais; e o *Bourbon*, importado pelo governo brasileiro em 1859 para solucionar o problema do declínio da produção (CARVALHO, 2007).

A cultivar IAC Obatã, avaliada nesse trabalho, foi liberada pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) para cultivos comerciais no ano 2000. A planta resulta do cruzamento entre as plantas Villa Sarchi e Híbrido de Timor CIF 832/2, seguido do retrocruzamento natural com o Catuaí Vermelho. Assim, o 'IAC Obatã' possui 62,5% de sua constituição genética de Bourbon, 34,4% de Típica e 3,1% de Robusta. Essa cultivar de baixo porte e resistente a ferrugem é recomendada para plantios adensados, responde bem a irrigação e é altamente exigente em nutrição (FAZUOLI et al., 2007).

3. Cafezais Arborizados

O consórcio entre cafeeiros e árvores é um dos sistemas mais antigos para produção da cultura (JARAMILLO-BOTERO; MARTINEZ; SANTOS, 2010). Segundo Meyer (1965) em seu centro de origem, os produtores de café costumam limpar o sub-bosque, eliminando plantas que estão no mesmo estrato e que competem com o mesmo, mas mantem o dossel superior intacto, cultivando as plantas selvagens. Meyer (1965) também relata cultivos no qual se derruba o resto da floresta e o cultivo é manejado a pleno sol por três a quatro anos, quando ocorre a exaustão e morte dos cafeeiros.

Mesmo sendo de origem etíope, a descoberta da cultura pelos europeus ocorreu no atual Iêmen, por isso o nome arábica dado a espécie por Linnaeus (MARTINS, 2012; MEYER, 1965; PENDERGRAST, 1999), nos relatos da produção no Iêmen é notório que os cultivos eram realizados em terraços e irrigados (MARTINS, 2012; MEYER, 1965), o que indica que as produções ocorriam em altitudes elevadas e em condições hídricas desfavoráveis a cultura. DaMatta et al. (2007) afirmam que no Iêmen, o cultivo a pleno sol foi realizado por mais de mil anos antes da exploração da espécie pelos europeus. Ainda assim, segundo Campa et al. (2017), mesmo após séculos de melhoramento genético para o cultivo a pleno sol o *C. arabica* ainda hoje continua sendo uma espécie de sombra, que quando jovem é incapaz de adaptar-se à altos níveis de luminosidade.

Na América Latina e no norte do Brasil, região por onde a cafeicultura foi introduzida no país, até a década de 1970, o cultivo de cafeeiros sombreados era majoritário (JARAMILLO-BOTERO et al., 2006). Já na região do Rio de Janeiro, onde se iniciou os cultivos brasileiros voltados à exportação, os cafeeiros foram introduzidos em pequenas clareiras no meio de matas virgens (MARTINS, 2012). Nos sistemas de cultivo iniciais, o desenho peculiar da plantação, com baixa densidade de cafeeiros e plantio orientado morro a baixo, mesmo sendo altamente prejudiciais, por evitar o auto sombreamento das plantas e favorecer a erosão, era uma necessidade para o controle do feitor sobre o trabalho dos escravos, pois permitia melhor visibilidade da lavoura. Já no atual estado de São Paulo, afim de suprir o aumento da demanda, foram instaladas vastas lavouras monoculturais (MARQUES, 2010; PENDERGRAST, 1999). Segundo Marques (2010), os cafeicultores, já no século XVI, estavam cientes dos prejuízos dos desenhos dos sistemas, mas optaram pelo mesmo para manter o uso

do trabalho escravos. Em vista dessas informações, questiona-se se as árvores foram eliminadas dos cafeeiros também em função do uso de mão-de-obra escrava.

Posteriormente, com a tecnificação das lavouras cafeeiras, em especial a mecanização, as árvores continuaram sendo evitadas nas regiões produtoras; salvo onde é recorrente eventos climáticos adversos, como as geadas no Paraná e os ventos secos na Bahia (JARAMILLO-BOTERO et al., 2006).

Baseado nas informações ecofisiológicas mencionadas anteriormente, entende-se que o *C. arabica*, cultivado comercialmente no Brasil seria beneficiado com o sombreamento. As árvores podem propiciar um ambiente mais adequado para o desenvolvimento do cafeeiro (ALVARENGA et al., 2004), principalmente nas regiões marginais de produção (MUSCHLER, 2001), podendo inclusive melhorar as taxas de fotossíntese, aumentando a longevidade da lavoura (DaMATTA, 2004) e se apresentar como uma boa ferramenta para o enfrentamento das mudanças climáticas.

Jaramillo-Botero et al. (2006), classificam os modelos de consórcios de árvores com cafeeiros, como de dois tipos principais: *Tradicionais*, quando o cultivo de café é realizado sob o dossel de matas nativas, podendo esta ser ou não enriquecida com espécies fabáceas (leguminosas) sombreadoras; e *Tecnificados*, onde as espécies sombreadoras são geralmente pertencentes a uma única espécie e, no caso da América Central, altamente manejada com poda. Os mesmos autores destacam que os sistemas tradicionais costumam apresentar produtividades inferiores aos sistemas em pleno sol, mas apresentam as vantagens de serem menos demandantes em recursos (energéticos, financeiros ou insumos). Já os sistemas tecnificados, que geralmente se encontram em áreas marginais, potencializam a produtividade da cultura.

Outra definição importante é o termo arborização de cafezais, que corresponde a consórcios nos quais os componentes arbóreos têm baixa ocupação do solo, entre $\frac{1}{4}$ e $\frac{1}{8}$ (ALVARENGA et al., 2004). Esses sistemas têm sido amplamente utilizados na cafeicultura brasileira por trazerem benefícios ao sistema produtivo, sem comprometer fortemente a produtividade ou mecanização e demandarem poucos aportes extras de energia ou mão-de-obra se comparados a sistemas com maior densidade de árvores.

Um dos principais benefícios do sombreamento para o cafeeiro é a promoção de um ambiente no qual as floradas são mais uniformes e balanceada com a capacidade produtiva da planta, reduzindo os efeitos da bienalidade da produção (JARAMILLO-BOTERO; MARTINEZ; SANTOS, 2010). Em sombreamento a

maturação dos frutos de café é mais longa, possibilitando melhor enchimento dos grãos, que ficam maiores e, portanto, com qualidade superior, tanto em condições sub ótimas (MUSCHLER, 2001), quanto em locais adequados ao cultivo (VAAST et al., 2006).

Entretanto, existem controvérsias quanto ao nível de sombra que proporcionaria mais benefícios a cultura. DaMatta (2004) afirma que mesmo o ponto de saturação luminosa do *C. arabica* sendo entre 300 e 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, as plantas expostas a condições de pleno sol, onde os níveis de irradiância superam os 2.000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (TAIZ et al., 2017), são capazes de alterar seu metabolismo, para que a irradiância saturante apresenta-se em níveis superiores aos limites mencionados. Além disso, o mesmo autor destaca que o ângulo de exposição solar da folha, bem como seu posicionamento na copa, altera o seu tempo de exposição às condições máximas de irradiância, reduzindo-o para pouco minutos por dia.

Muito se questiona quanto à influência do sombreamento na produtividade. Diversos autores consideraram a produtividade a pleno sol superior (CAMARGO et al.; 2007; COELHO et al., 2010, MUSCHLER, 2001; VAAST et al., 2006), enquanto que outros não encontraram diferenças entre os sistemas (CERDA et al., 2017; PEZZOPANE et al.; 2007; RICCI et al., 2006; RICCI et al., 2011) ou até mesmo, superioridade dos sistemas sombreados (FERREIRA, 2017; RICCI et al., 2011).

Um dos principais argumentos contra o sombreamento da cultura decorre do estímulo ao desenvolvimento reprodutivo. Cafeeiros a pleno sol apresentam aumento do número de nós por ramo e de flores por nós (DaMATTa, 2004). Por outro lado, isso pode acarretar problemas para o desenvolvimento das plantas, como a superprodução nos anos iniciais do cultivo, o que normalmente levam as plantas ao esgotamento e, em casos extremos, à morte (ALVARENGA et al., 2004).

Tal fenômeno ocorre devido ao desbalanço entre fonte e dreno. As plantas a pleno sol produzem floradas em quantidades superiores às que podem ser abastecidas pelos tecidos vegetativos, que realizam a fotossíntese (PEREIRA et al, 2011). Em cafezais formados, o auto sombreamento reduz os efeitos desse fenômeno. Mesmo assim, esse desbalanço ocasiona o ciclo bienal de produção, característico da cultura (CARVALHO, 2007).

O esgotamento da planta reduz a manutenção da folhagem e diminui as floradas, o que reduz a produção (BARROS et al., 1997). Pelo mesmo princípio, em condições de elevado sombreamento, o cafeeiro reduz a emissão de novos ramos

produtivos (PEZZOPANE; PEDRO JÚNIOR; GALLO, 2007; MATIELLO et al., 2005) e do número de gemas por ramos, como estratégia da planta para direcionar mais energia para cada fruto individualmente (ALVARENGA et al., 2004).

Da Matta (2004) questiona que os trabalhos que consideram os cafeeiros sombreados mais produtivos em relação ao cultivo a pleno sol são geralmente de sistemas em fase de implantação, onde a competição é pouco acentuada. Já Cerda et al. (2017) e Ricci, Costa e Oliveira (2011) não encontraram diferenças entre a produção de cafeeiros sombreados e a pleno sol em cafezais já estabelecidos.

As controvérsias quanto à produtividade de cafeeiros sombreados e a pleno sol é resultado dos diferentes arranjos de plantas que podem ser formados nesses sistemas (JARAMILLO-BOTERO et al., 2006). A correta intensidade de sombreamento pode proporcionar equilíbrio entre os benefícios proporcionados pela presença das árvores, com os ganhos de produtividade ocasionados pelo aumento da luminosidade, evitando, ou ao menos atenuando, os danos gerados pelo excesso de radiação (ALVARENGA et al., 2004).

RICCI et al. (2013) verificaram que a arborização de cafeeiros Robusta com gliricídia (*Gliricidia sepium*) e eritrina (*Erythrina poeppigiana*) foi capaz de gerar um microclima propício para o café em regiões nas quais o cultivo a pleno sol apresentavam temperaturas médias 3°C superiores ao ideal para a cultura. VALENTINI et al. (2010) relatam que as árvores são capazes de reduzir a amplitude térmica em cafezais, além de aumentar as temperaturas mínimas em dias frios do outono e reduzir as máximas no verão.

Portanto, a prática de arborizar cafezais resulta em mais benefícios que prejuízos quando a cultura se encontra em áreas marginais, sob condições desfavoráveis ao cultivo (BEER et al., 1998; DaMATTA, 2004; EBISA, 2014; PEZZOPANE et al., 2007; NETO et al., 2011).

4. Efeito da Distribuição Espacial das Árvores

Nos sistemas agroflorestais é necessário balancear a competição intraespecífica por recursos, como em todos os sistemas agrícolas, mas também as competições interespecíficas, que tem seu grau de complexidade aumentado em função do número de espécies envolvidas. Uma vez que a distribuição dos recursos se dá por meio de competição direta entre os componentes, por fracionamento do recurso espacial ou temporalmente e, por fim, de forma complementar, a exemplo da

ciclagem de nutrientes. Para tal, é necessário abordar a competição em três dimensões: horizontal, vertical e temporal. Desenhando sistemas que possibilitem o máximo compartilhamento dos recursos e reduzam as interferências negativas (BUCK, 1986).

Horizontalmente, a competição pode ser reduzida pela manipulação da distribuição espacial e das densidades de plantio, sendo necessário identificar os limites espaciais de interação entre os componentes e assim, por meio do manejo das plantas, estimular ao máximo as interações vantajosas e reduzir as indesejadas (BUCK, 1986). Na cafeicultura, a introdução de árvores visa especialmente promover condições apropriadas de radiação para o bom desenvolvimento fotossintético das plantas, mas também para que as temperaturas se mantenham em faixas adequadas para o desenvolvimento fenológico reprodutivo.

Dessa forma, a escolha das espécies arbóreas, assim como a sua distribuição espacial no sistema são de suma importância para se atingir os níveis ideais de sombreamento. Os diferentes formatos de copa que as árvores apresentam afetam a projeção e o caminhamento da sombra (SILVA, 2006). Além disso, a competição por luz entre os componentes arbóreos, em função de sua distribuição espacial, também é capaz de afetar o formato da copa e, portanto, da sombra (CARVALHO et al., 2002). A densidade da copa também afeta o sombreamento do sistema, quando densas geram um ambiente desfavorável para o desenvolvimento vegetal nos estratos inferiores, por outro lado, copas ralas podem contribuir pouco para o sombreamento (ANDRADE; SALMAN; OLIVEIRA, 2012).

Trabalhos que avaliaram a radiação fotossinteticamente ativa (*PAR*) (PEZZOPANE et al., 2011; PEZZOPANE et al., 2010) e a radiação global (PEZZOPANE et al., 2007) em cafezais arborizados constataram que as árvores interceptam grande parte da radiação, evitando o aumento excessivo da temperatura nos cafeeiros. PEZZOPANE et al., 2011, trabalhando com o coqueiro-anão-verde (*Cocus nucifera* L.) como componente arbóreo, encontraram que nos pontos mais próximos das árvores a transmissividade da *PAR* foi de 57,9% e no mais distante foi de 83,7%. Já em cultivos de cafeeiros consorciados com macadâmia (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betche), os pontos mais próximos das árvores recebiam 17,3% da *PAR*, sendo a transmissividade nos pontos mais distantes de 87,9% (PEZZOPANE et al., 2010). Isso evidencia que os cafeeiros recebem quantidades distintas de *PAR*

em função da distribuição espacial e das espécies arbóreas utilizadas para o sombreamento.

A face de exposição do cafeeiro ao sol também é um fator de elevada importância na distribuição espacial dos recursos no sistema, especialmente a fotossíntese do cafeeiro. Folhas localizadas em lados opostos das plantas apresentam taxas fotossintéticas distintas, sendo as taxas das faces sombreadas menores (ARAUJO et al., 2008; CHAVES et al., 2012; MATOS et al., 2009).

As diferenças ambientais geradas em função da distribuição espacial do componente arbóreo também afetam a maturação dos frutos. Pezzopane et al. (2007) ao avaliar o desenvolvimento fenológico de cafeeiros em diversas localidades de talhões arborizados observaram diferenças entre as plantas mais próximas das árvores com as restantes do talhão. Já Silva Neto et al. (2018) e Lunz et al. (2005) verificaram que os cafeeiros mais próximos das árvores foram os primeiros a terminar a maturação dos frutos e os mais distantes os últimos, evidenciando a influência da distribuição das árvores no processo de maturação.

Além do arranjo do sistema, determinado pelo espaçamento entre os cafeeiros e da densidade e disposição de árvores, a espécie do componente arbóreo também é de suma importância, a fim de se mitigar as competições, além de se explorar ao máximo os benefícios da inclusão das árvores.

Para o uso eficiente da água do solo em sistemas agroflorestais é necessário que os componentes explorem volumes distintos do solo. Uma vez que o volume superficial é explorado pelo cafeeiro, árvores que explorem porções mais profundas são ideais para esses sistemas (PADOVAN et al., 2015). Os autores apontam, por exemplo, a espécie *Simarouba glauca*, que tem maior volume de raízes concentrada na profundidade de 165 cm, enquanto que as raízes do cafeeiro estão concentradas, principalmente, acima dos 30 cm. Porém, em condições de seca extremamente prolongada pode ocorrer competição por água entre os cafeeiros e as árvores (COELHO et al., 2010), mesmo quando utilizadas combinações adequadas das espécies (PADOVAN et al., 2015)

Trabalhos que avaliem o efeito de diferentes espécies arbóreas sobre a fenologia reprodutiva dos cafeeiros são raras na literatura específica. Sendo está uma questão de fundamental importância para o desenho de sistemas de cafeeiros sombreados mais sustentáveis e eficientes.

5. Qualidade da Bebida

O sabor de cafés com boa qualidade é descrito como uma sensação agradável, que balanceia sabor característico, corpo e aroma, na ausência de defeitos. A geração do sabor começa no cafeeiro, onde os precursores de sabor se desenvolvem juntamente com frutos. Nas etapas de processamento e, posteriormente, com as técnicas de preparo da bebida, ocorre a complexificação do sabor (SUNAHARUM; WILLIAMS; SMYTH, 2014), que deriva de inúmeros compostos bioativos já presentes nos grãos, como o ácido clorogênico e a cafeína ou gerados por degradação térmica durante a torra, caso dos compostos derivados da trigonelina (PIMENTA; ANGÉLICO; CHALFOUN, 2018).

Para o café, ao contrário do que ocorre com a maioria das commodities agrícolas, a qualidade tem impacto direto no valor de comercialização dos grãos. Entretanto, a cafeicultura brasileira demorou para ingressar nesse nicho de mercado, mantendo por décadas o foco na produção de grandes volumes, geralmente de baixa qualidade. Isso se deu principalmente pela exclusividade de produção do país, que no início do século XX, correspondia a 80% do mercado mundial (PENDERGAST, 1999).

Entretanto, a crescente demanda do mercado consumidor, tanto interno quanto externo, por cafés especiais (SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA, SCAA, 2015) tem alterado a forma como o café é produzido no Brasil. Em 2018 foram exportadas cerca de 6,3 milhões de sacas de 60kg de café arábica especial (17,7% do total exportado), sendo 316 mil de sacas classificados pela bebida como especial ou gourmet (CECAFÉ, 2019). Já o consumo interno foi de 490 mil sacas (2,33%) de café especial em 2016 (PROENÇA, 2017).

O mercado internacional do café sofreu três grandes etapas de percepção de qualidade. A primeira delas, foi o resultado, principalmente, da revolução industrial, que possibilitou avanços no processamento, embalagem e comercialização e expandiu os formatos disponíveis de café, a exemplo dos cafés solúveis. Essa etapa se caracteriza por cafés de baixa qualidade, sendo o consumo motivado pela ingestão de cafeína e corresponde ao período de expansão do hábito de consumo da bebida no século XIX (GUIMARÃES et al., 2019).

A segunda etapa só ocorreu em meados da década de 1960, com o surgimento de conceitos como origem e tipo de torra, que visavam alcançar diferentes tipos de bebida. Nessa etapa, os cafés eram principalmente *blends* de cultivares arábica, com qualidade superior às apresentadas na etapa anterior. Foi nesse período que surgiram

as redes de cafeterias. Entretanto as torras eram muito fortes, o que ocasiona bebida de qualidade inferior, mas acompanhados de aditivos, como chocolate, creme e xaropes, o que mascaravam o sabor. Foi nessa etapa também que o termo *café especial* foi cunhado (do inglês *specialty coffee*) (GUIMARÃES, 2019).

Juntamente com o termo, o conceito de qualidade passou a incorporar, além da origem dos grãos, questões ambientais e socioeconômicas, o que estimulou o interesse por cafés sustentáveis, o que abrigou na mesma nomenclatura, *café especial*, conceitos muito diversos (GUIMARÃES et al., 2019). Isso se mantém até hoje para o nicho de cafés diferenciados, que englobam características diversas, como conservação de recursos naturais e abrigo para fauna silvestre a até características socioeconômicas da cadeia produtiva, como os cafés *fair trade*, passando pelos produtos gourmet, com flavorização ou qualidade de bebida superior (TEIXEIRA; MILAGRES, 2009).

A última etapa, que vigora até hoje, surgiu com o aprimoramento e padronização das técnicas de avaliação da qualidade da etapa anterior. Desde então, torras moderadas (médias e leves), que enfatizam os aromas e compostos naturais dos grãos, são preferidas, associadas com novas técnicas de extração da bebida. Assim, o conceito de origem foi extrapolado para lotes individuais, compostos exclusivamente de grãos arábica (GUIMARÃES et al., 2019).

Nesse período também se tornou praticamente exclusivo o uso da escala SCA (*Specialty Coffee Association*) de qualidade (GUIMARÃES et al., 2019), que consiste da somatória das notas de dez características: acidez, ausência de defeitos (xícara limpa), avaliação global, corpo, doçura, equilíbrio, finalização, fragrância, sabor e uniformidade. Teoricamente as notas variam entre zero e dez, entretanto, gradações inferiores a seis desclassificam o café como especial. Além disso, para ser considerado especial, o café precisa atingir nota total superior a 80 pontos. Essa metodologia permite a caracterização sensorial e descrição do sabor de um lote, possibilitando comparações entre produtos da mesma natureza além da seleção de produtos de qualidade superior (SCAA..., 2015).

Devido a sua aceitação pelo mercado internacional, a metodologia SCA é a mais utilizada mundialmente, ainda assim, ainda existem diversas legislações locais que visam assegurar a qualidade do café nos países produtores. No caso do Brasil, a Instrução Normativa número 8, de 1 de junho de 2003 (IN 8) estabelece os padrões de qualidade de grãos de café. A IN 8 considera, além de um teste de qualidade

sensorial, a presença de defeitos intrínsecos (grãos que apresentam características defeituosas em detrimento do manejo) e extrínsecos (materiais estranhos, como torrões de solo, pedras ou paus, incorporados ao café durante a colheita) (BRASIL, 2003). Entre os defeitos intrínsecos, destacam-se os grãos ardidos, gerados como resultados de deficiência hídrica durante a maturação dos grãos ou por processos fermentativos indesejados na secagem dos frutos no terreiro; grãos pretos, que tem a mesma origem que os verdes, porém este é um defeito mais comum em grãos de frutos passados da maturação, seja ainda acoplados a planta ou caídos no chão; grãos verdes, provenientes de frutos imaturos, responsáveis por aumentar a adstringência da bebida (BANDEIRA et al., 2009) ; e grãos brocados, que sofreram ataques de insetos.

A IN 8 também classifica os grãos quanto ao tamanho, valendo-se de peneiras com crivos em frações de 1/64, entre 9/64 e 20/64, sendo que os números utilizados para a identificação das peneiras correspondem ao valor do numerador da fração. As peneiras de número 13 a 20 são redondas, utilizadas para separação de grãos chatos, e as entre 9 e 13, oblongas, para seleção dos grãos mocas (BRASIL, 2003).

O sabor e as qualidades sensoriais características do café, que resultam na qualidade da bebida, variam enormemente em função da variedade, local de produção e condições ambientais, práticas de produção e beneficiamento (SUNAHARUM; WILLIAMS; SMYTH, 2014). Entre as práticas de produção que visam o aumento da qualidade, os sistemas sombreados têm ganhado destaque (PRADO; COLLAZO; IRWIN, 2018).

LITERATURA CITADA

ALVARENGA, A. de P.; VALE, R. S. do; COUTO, L.; VALE, F. A. F. do; VALE, A. B. do. Aspectos fisiológicos da cultura do café e seu potencial produtivo em sistemas agroflorestais. **Agrossilvicultura**, v. 1, n. 2, p. 195-202, 2004.

ANDRADE, C. M. S. de; SALMAN, A. K. D.; OLIVEIRA, T. K. de. **Guia arbopasto**: manual de identificação e seleção de espécies arbóreas para sistemas silvipastoris. Brasília, DF: Embrapa, 345p. 2012.

ARAUJO, W. L.; DIAS, P. C.; MORAES, G. A. B. K.; CELIN, E. F.; CUNHA, R. L.; BARROS, R. S.; DaMATTA, F. M. Limitations to photosynthesis in coffee leaves from different canopy positions. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 46, p. 884-890, 2008.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J.; ÁVILA, A. M. H. Impactos das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa agropecuária brasrasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1057-1064, nov., 2004

BALIZA, D. P.; CUNHA, R. L. da; CASTRO, E. M. de; BARBOSA, J. P. R. A. D.; PIRES, M. F.; GOMES, R. A. Trocas gasosas e características estruturais adaptativas de cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 3, p. 250-258, set.-dez., 2012.

BANDEIRA, R. D. C. C.; TOCI, A. T.; TRUGO, L. C.; FARAH, A. Composição volátil dos defeitos intrínsecos do café por CG/EM-headspace. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 309-314, 2009.

BARROS, R. S.; MOTA, J. W. da S. e; DaMATTA, F. M.; MAESTRI, M. Decline of vegetative growth in *Coffea arabica* L. in relation to leaf temperature, water potential and stomatal conductance. **Field Crops Research**, v. 54, p. 65-72, 1997.

BEER, J.; MUSCHLER, R.; KASS, D.; SOMARRIBA, E. Shade management in coffee and cacao plantations. **Agroforestry Systems**, v. 38, n 1-3, p. 139-164, 1998.

BRASIL. Decreto-lei n. 4.629, de 21 de março de 2003. Estabelece critérios técnicos de identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado grão cru. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2003. Seção 1, p. 4. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=recuperarTextoAtoTematicaPortal&codigoTematica=1229303>>. Acesso em: 09 mar. 2019.

BUCK, M. G. Concepts of resource sharing in agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, v. 4, pp. 191-203, 1986

CAMARGO, F. T.; FAVARIN, J. L.; BERNARDES, M. S.; LUNZ, A. M. P.; RIGUI, C. A.; ALVES, S. N. R.; REIS, A. R. Crescimento e maturação do fruto do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em um sistema arborizado e monocultivo In: **V Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, 2007. Águas de Lindóia Anais..., Brasília: EMBRAPA. 2007.

CAMARGO, A. P. de. O clima e a cafeicultura no Brasil. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, MG, v. 11 n. 126, p. 13-26, 1985.

CAMARGO, M. B. P. de. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. **Bragantia**, v. 69, n.1, pp. 239-247, 2010.

CAMARGO, A. P. de; CAMARGO, M. B. P. de. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 1, pp. 65-68, 2001.

CAMPA, C.; URBAN, L; MONDOLOT, L.; FABRE, D.; ROQUES, S.; LIZZI, Y.; AARROUF, J.; DOULBEAU, S.; BREITLER, J. C.; LETREZ, C.; TONIUTTI, L.; BERTRAND, B.; LA FISCA, P.; BIDEL, L. P. R.; ETIENNE, H. Juvenile Coffee Leaves Acclimated to low Light Are Unable to Cope with a Moderate Light Increase. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, jul., 2017.

CARR, M. K. V. The water relations and irrigation requirements of coffee. **Experimental Agriculture**, v. 37, p. 1-36, 2001.

CARVALHO, M. M.; ALVIM, M. J.; XAVIER, D. F.; YAMAGUSHI, L. C. T. **Estabelecimento de sistemas silvipastoris: ênfase em áreas montanhosas e solos de baixa fertilidade**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, Circular Técnica, 68, 12p. 2002.

CARVALHO, C. H. S. **Cultivares de Café**. Brasília: EMBRAPA, 247 p., 2007.

Conselho dos Exportadores de Café do Brasil, CECAFÉ. **Relatório Mensal** Dezembro de 2018. Disponível em: <<https://www.cecafe.com.br/publicacoes/relatorio-de-exportacoes/>>. Acesso em: 11 fev. 19.

CERDA, R.; ALLINNE C.; GARY, C.; TIXIER, P.; HARVEY, C. A.; KROLCZYK, L.; MATHIOT, C.; CLÉMENT, E.; A. J. N.; AVELINO, J. Effects of shade, altitude and management on multiple ecosystem services in coffee agroecosystems. **European Journal of Agronomy**, v. 82, pp. 308-319, 2017.

CHAVES, A. R.M.; MARTINS, S. C. V.; BATISTA, K. D. CELIN, E. F.; DaMATTA, F. M. Varying leaf-to-fruit ratios affect branch growth and dieback, with little to no effect on photosynthesis, carbohydrate or mineral pools, in different canopy positions of field-grown coffee trees. **Environmental and Experimental Botany**, v. 77, p. 207-208, 2012.

COELHO, R. A.; MATSUMOTO, S. N.; LEMOS, C. L.; SOUZA, F. A. de. Nível de sombreamento, umidade do solo e morfologia do cafeeiro em sistemas agroflorestais. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n.1, p. 095-102, jan.-fev., 2010.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira Café**. v. 5 - Safra 2018 - n.3 - Quinto levantamento | JANEIRO 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/index.php/info-agro/safras/cafe>>. Acesso em 02 fev. 2019.

DaMATTA, F. M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. **Field Crops Research**, v. 86, p. 99-114, 2004.

DaMATTA, F. M.; RAMALHO J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, n. 1, 2006.

DaMATTA, F. M.; RONCHI, C. P.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 4, pp. 485-510, 2007.

EBISA, L. Effect of Dominant Shade Trees on Coffee Production in Manasibu District, West Oromia, Ethiopia. **Science, Technology and Arts Research Journal**, v. 3 (3), 0. 18-22, jul.-set., 2014.

FAZUOLI, L. C.; SILVAROLLA, M. B.; SALVA, T. de J. G.; GUERREIRO FILHO, O.; MEDINA FILHO, H. P.; GONÇALVES, W.; Cultivares de café arábica do IAC, um patrimônio da cafeicultura brasileira. In: **XXXIII Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras**, 2007, Lavras. Anais. Lavras: Anais..., 2007.

FERREIRA, R. de P. **Ecofisiologia do cafeeiro sombreado com macaúba em sistemas agroflorestais**. 2017, 56 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

GIOMO, G. S. Uma boa pós-colheita é segredo da qualidade. **A Lavoura**. Rio de Janeiro, v. 115, n. 688, p.12-21, fev. 2012.

GUIMARÃES, E. R.; LEME, P. H. M. V.; REZENDE, D. C. de; PEREIRA, S. P.; SANTOS, A. C. dos. The brand new Brazilian specialty coffee market. **Journal of Food Products Marketing**, v. 25, n. 1, 2019.

JAMILLO-BOTERO, C.; MARTINEZ, H. E. P.; SANTOS, R. H. S. Características do café (*Coffea arabica* L.) sombreado no norte da América Latina e no Brasil: Análise comparativa. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 2, p. 94-102, jul.-dez. 2006.

JARAMILLO-BOTERO, C.; MARTINEZ, H. E. P.; SANTOS, R. H. S. Características do café (*Coffea arabica* L.) sombreado no norte da América Latina e no Brasil: Análise comparativa. **Coffee Science**, v. 1, n.2, pp. 94-102, jul.-dez., 2010.

KUMAR, D.; TIESZEN, L. L. Photosynthesis in *Coffea arabica* L. effects of light and temperature. **Experimental Agriculture**, v. 16, pp. 13-19, 1980.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2009. 384 p.

LUNZ, A. M. P.; BERNARDES, M. S.; RIGHI, C. A.; COSTA, J. D.; FAVARIN, J. L.; CORTEZ, J. G. Qualidade do café arábica em sistema agroflorestal de seringueira (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) e em monocultivo. In: **IV Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, 2005, Londrina. Anais. Londrina: Embrapa Café, 2005.

MARQUES, R. de V. O vale do Paraíba cafeeiro e o regime visual da segunda escravidão: o caso da fazenda Resgate. **Anais do Museu Paulista**. São Paulo. N; Sér., v. 18. n. 1, pp. 83-123. jan.-jul., 2010.

MARTINS, A. L. **História do Café**. São Paulo: Contexto. 2012

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. **Cultura do café no Brasil**: novo manual de recomendações. E. ed. rev. ampl., Rio de Janeiro: MAPA/Procafé; Varginha: Fundação Procafé, 2005.

MATOS, F. S.; WOLFGRAMM, R.; GONÇALVES, F. V.; CAVETTE, P. C.; VENTRELLA, M. C.; DaMATTA, F. M. Phenotypic plasticity in response to light in the coffee tree. **Environmental and Experimental Botany**, v. 67, p. 421-427, 2009.

MEYER, F. G. Notes on wild *Coffea arabica* from South western Ethiopia, with some historical considerations. **Economic Botany**, v. 19. n. 2, abr.-jun., pp. 136-151, 1965.

MUSCHLER, R. G. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. **Agroforestry Systems**, v. 85, p. 131-139, 2001.

NETO, J. N. P.; OLIVEIRA, C. C. de; CORRÊA, M. de P.; ALVARENGA, M. I. N.; MORTL, D. Avaliação da disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa em lavoura cafeeira com sub-bosque de araucária (*Ararucaria angustifolia* L.). **Anais do XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, Guarapari – ES. 2011

PADOVAN, M. P.; CORTEZ, V. J.; NAVARRETE, L. F.; NAVARRETE, E. D.; DEFFNER, A. C.; CENTENO, L. G.; MUNGUÍA, R.; MARRIOS, M.; VÍLCHEZ-MENDOZA, J. S.; VEJA-JARQUÍN, C.; BROOK, R. M.; RAPIDEL, B. Root distribution and water use in coffee shaded with *tabebuia rosea* Bertol. and *Simarouba glauca* DC. compared to full sun coffee in sub-optimal environmental conditions. **Agroforest Systems**, v. 89, p. 857-868, 2015.

PADOVAN, M. P.; BROOK, R. M.; BARRIOS, M.; CRUZ-CASTILLO, J. B.; VILCHEZ-MENDOZA, S. J.; COSTA, A. N.; RAPIDEL, B. Water loss by transpiration and soil evaporation in coffee shaded by *Tabebuia rosea* bertol. and *Simarouba glauca* dc. compared to unshaded coffee in sub-optimal environmental conditions. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 248, pp. 1-14, 2018.

PENDERGAST, M. **Uncommon grounds**: The history of coffee and how it transformed our world. New York: Basic Books, 458 p., 1999.

PEREIRA, S. P.; BARTHOLO, G. F.; BALIZA, D. P.; SOBREIRA, F. M.; GUIMARÃES, R. J. Crescimento, produtividade e bienalidade do cafeeiro em função do espaçamento de cultivo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 46, n. 2, pp. 152-160, fev., 2011.

PEZZOPANE, J. R. M.; MARSETTI, M. M. S.; FERRARI, W. R.; PEZZOPANE, J. E. M. Microclimatic alterations in a conilon coffee crop grown shaded by green dwarf coconut trees. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 865-871, out.-dez., 2011.

PEZZOPANE, J. R. M.; MARSETTI, M. M. S.; SOUZA, J. M. de; PEZZOPANE, J. E. M. Condições microclimáticas em cultivo de café conilon a pleno sol e arborizado com nogueira macadâmia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 6, p. 1257-1263, jun. 2010.

PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; GALLO, P. B.; CAMARGO, M. B. P. de; FAZUOLI, L. C. Avaliações fenológicas e agronômicas em café arábica cultivado a pleno sol e consorciado com banana 'prata anã'. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 701-709. 2007.

PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; GALLO, P. B. Caracterização microclimática em cultivo consorciado café/banana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 256-264, 2007.

PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; THOMAZIELLO, R. A.; CAMARGO, M. B. P. de. Escala para avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro arábica. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n.3, p. 499-505, 2003.

PIMENTA, C. J.; ANGÉLICO, C. L.; CHALFOUN, S. M. Challenges in coffee quality: Cultural, chemical and microbiological aspects. **Ciência e Agrotecnologia**, n. 42, v. 4, p. 337-349, jul.-ago., 2018

PROENÇA, M. P. Pesquisa revela crescimento de 25% no consumo de cafés especiais. **Espresso**. São Paulo, 28 nov. 2017. Disponível em:

<http://revistaespresso.com.br/2017/11/28/pesquisa-revela-crescimento-de-181-no-consumo-brasileiro-de-cafes-especiais/>. Acesso em: 11 fev. 2019.

RICCI, M. dos S. F.; COSTA, J. R.; OLIVEIRA, N. G. de. Utilização de componentes principais para analisar o comportamento do cafeeiro a pleno sol e sombreado. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 1, pp. 44-54, jan.-abr., 2011.

RICCI, M. dos S. F.; COSTA, J. R.; PINTO, A. N.; SANTOS, V. L. da S. Cultivo orgânico de cultivares de café a pleno sol e sombreado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 4, pp. 596-575, abr., 2006.

RICCI, M. dos S. F.; COCHETO JUNIOR, D. G.; ALMEIDA, F. F. D. de. Condições microclimáticas, fenologia e morfologia externa de cafeeiros em sistemas arborizados e a pleno sol. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 3, p. 379-388, jul.-set., 2013.

RICCI, M. dos S. F.; ROWA J. R. C.; OLIVEIRA, N. G. de. RODRIGUES, M. B. Vegetative and productive aspects of organically grown coffee cultivars under shaded and unshaded systems. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 68, n. 4. pp. 424-430, jul.-ago., 2011.

RONQUIM, J. C. **Assimilação de carbono e fluorescência da clorofila do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sob condições contrastantes de irradiância, temperatura e disponibilidade de Co₂**. 2007, 76 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

SCAA Protocols: Cupping Specialty Coffee. Specialty Coffee Association of America, 10p. 2015. Disponível em: <<https://www.scaa.org/PDF/resources/cupping-protocols.pdf>>. Acesso em 28 jun. 2018.

SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION - SCAA. **Specialty Coffee Facts and Figures**. 2015. Disponível em: <<https://sca.coffee/research/specialty-coffee-facts-figures/>>. Acesso em: 15 jun. 2018.

SILVA, A V. L. **Clima e qualidade natural de bebida de café na região de Mogiana do estado de São Paulo**. Dissertação (Mestre em Agricultura Tropical e Subtropical) – IAC Instituto Agrônomo de Campinas. 2010.

SILVA, R. G. da. Predição da configuração de sombra de árvores em pastagens para bovinos. **Engenharia Agrícola**, v.26, n.1, p.268-281, jan.-abr. 2006.

SILVA NETO, F. J. da; MORINIGO, K. P. G.; GUIMARÃES, N. de F.; GALLO; A. de S.; SOUZA, M. D. B. de; STOLF, R.; FONTANETTI, A. Shade trees spatial distribution and its effects on grains and beverage quality of shaded coffee trees. **Journal of Food Quality**, v. 2018, 8p., 2018.

SUNAHARUM; W. B.; WILLIAMS; D. J.; SMYTH, H. E. Complexity of coffee flavor: A compositional and sensory perspective. **Food Research International**, v. 62, pp. 315-325, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Plant physiology**. 6. ed. Massachusetts: Sinauer Associates, 858 p. 2017.

TEIXEIRA, C. G. Z.; MILAGRES, T. S. Economicidade e certificação da cafeicultura familiar na Zona da Mata de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 4, p. 317-329, 2009.

VAAST, P.; BERTRAND, B. PERRIOT, J. J.; GUYOT, B.; GÉNARD, M. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, p. 197-204, 2006.

VAAST, P.; Van KANTEN, R.; SILES, P; DZIB, B.; FRANCK, N.; HARMAND, J. M. Shade: a key factor for coffee sustainability and quality. In: **XX International Conference on Coffee Science**. 2004. Bangalore: Anais... 2005.

VALENTINI, L. S. de P.; CAMARGO, M; B; P; de; ROLIM, G. de S.; SOUZA, P. S.; GALLO, P. B. Temperatura do ar em sistemas de produção de café arábica em monocultivo e arborizado com seringueira e coqueiro-anão na região de Mococa, SP. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n.4, p. 1005-1010, 2010.

CAPÍTULO 1. Trocas Gasosas em Cafeeiros Sombreados em Função da Distribuição Espacial e Espécies Arbóreas

1.1 Resumo

O café é uma das culturas agrícolas mais importantes para economia brasileira, onde as lavouras são conduzidas majoritariamente a pleno sol. Porém, em função das mudanças climáticas e da crescente demanda por grãos com qualidade superior a prática do sombreamento dos cafezais tem sido difundida. Entretanto, as condições microclimáticas propiciadas pelo sombreamento em talhões arborizados, onde a ocupação do solo pelo componente arbóreo é baixa, não é homogênea, podendo diferir entre as localidades do talhão. Assim, buscou-se com esse trabalho avaliar os efeitos da distribuição espacial e das espécies arbóreas na densidade da copa das árvores e nas trocas gasosas de cafeeiros em época de alta e baixa demanda energética do cafeeiro. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com três repetições, em esquema de parcelas sub-subdivididas. As parcelas foram as espécies arbóreas (*Anadenanthera falcata*, *Cassia grandis* e *Peltophorum dubium*), a subparcela cinco distâncias em relação aos troncos das árvores avaliadas (cafeeiros localizados na linha de plantio das árvores, a um metro e cinco metros (D1L e D5L); cafeeiros localizados na entrelinha de plantio das árvores, paralelos a D1L e D5L (D1E e D5E); e PS, cafeeiros localiza a 77 metros do tronco das árvores, incidindo em um

talhão a pleno sol; e as sub-subparcelas corresponderam as faces de exposição dos cafeeiros, norte e sul. A densidade do dossel das espécies arbóreas foi avaliada com densiômetro convexo. As trocas gasosas foram acompanhadas com analisador de gases por infravermelho (IRGA – *Infra Red Gas Analyzer*) em dois horários, das 07:00 as 9:00h e das 11:00 as 13:00h, avaliando a radiação fotossinteticamente ativa (*PAR*), a taxa de assimilação de gás carbônico (*A*), a transpiração (*E*), a temperatura na câmara de amostragem (T_{ch}) e a eficiência do uso da água (*A/E*). A densidade e ocupação do dossel não é homogênea ao longo do ano e sofre alterações em função da distribuição espacial das árvores no cafezal, não sendo afetada pela espécie de sombreamento. As árvores reduzem a *PAR* para níveis mais propícios ao aproveitamento do cafeeiro, principalmente na linha de plantio das árvores. A proximidade do tronco das árvores de sombreamento resulta em redução da T_{ch} . Cafeeiros a pleno sol têm maior *E* que os sombreados e sofrem maiores reduções na *A* ao longo do dia.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L.; Eficiência no uso da água; Sistemas Agroflorestais; Taxa Fotossintética.

Principais Abreviações Utilizadas (em ordem alfabética): *A* - taxa de assimilação de gás carbônico; *ADE* - Época de alta demanda energética do cafeeiro; *BDE* - Época de baixa demanda energética do cafeeiro; *CD* – Densidade do Dossel; *COR* - Taxa de taxa de contribuição para cobertura do dossel; *E* - Transpiração; *gs* condutância estomática; *PAR* - radiação fotossinteticamente ativa; T_{ch} - Temperatura na câmara de amostragem.

1.2 Introdução

O cafeeiro (*Coffea arabica* L.) apresenta baixa capacidade fotossintética quando cultivado a pleno sol (RONQUIM, 2007), condição na qual a *PAR* (radiação fotossinteticamente ativa) é de aproximadamente $2.000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (TAIZ et al., 2017). A saturação luminosa das folhas desta espécie ocorre entre 300 e $700 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (DaMATTA, 2004). Ou seja, altas incidências luminosas podem gerar danos aos fotossistemas (TAIZ et al., 2017), principalmente se associadas à elevadas temperaturas (ALVARENGA et al., 2004; CAMARGO, 2010).

O estresse térmico, se associado à escassez hídrica ocasiona seca de ponteiros e ramos laterais (*branches die-back*) do cafeeiro, fenômeno fisiológico que pode causar danos significativos à produtividade (DaMATTA, 2004). A pleno sol, o cafeeiro está susceptível a sobrecarga produtiva que resulta na bienalidade de produção característica da cultura (JARAMILLO-BOTERO et al., 2010) e até mesmo à morte de plantas jovens (ALVARENGA et al., 2004).

Dessa forma, na atualidade o interesse pela produção de cafeeiros em sistemas arborizados tem aumentado. As árvores, reduzem as temperaturas do ar, solo e do filoplano (PEZZOPANE et al., 2011 a; RICCI et al., 2013), também abrandam as amplitudes térmicas (BEER et al., 1998) e a velocidade dos ventos gerando um microclima mais adequado para as trocas gasosas dos cafeeiros (PEZZOPANE et al., 2011 a). O sombreamento altera a fisiologia do cafeeiro, fazendo com que a condutância estomática (g_s) deixe de ser mais limitante à fotossíntese que a própria *PAR* (FRANCK e VAAST, 2009).

O arranjo e as espécies arbóreas utilizados no consórcio com os cafeeiros podem resultar em diferentes níveis de sombreamento e competição interespecífica. Em consórcios nos quais as árvores de sombreamento ficam distantes entre si, as condições microclimáticas dentro do talhão deixam de ser homogêneas. Dessa forma, cafeeiros mais próximos do tronco das árvores estão sujeitos a maior competição por luz, água e nutrientes, enquanto que os localizados mais distantes das árvores, não são beneficiados pelas alterações microclimáticas proporcionadas pelo sombreamento.

Além disso, a espécie das árvores, utilizadas para o sombreamento alteram a interceptação de *PAR* (COELHO et al., 2010), taxas evaporativas do cafeeiro (PADOVAN et al., 2018; PADOVAN et al., 2015) e temperaturas do ar (RICCI et al., 2013; VALENTINI et al., 2010), solo e amplitudes térmicas (RICCI et al., 2013).

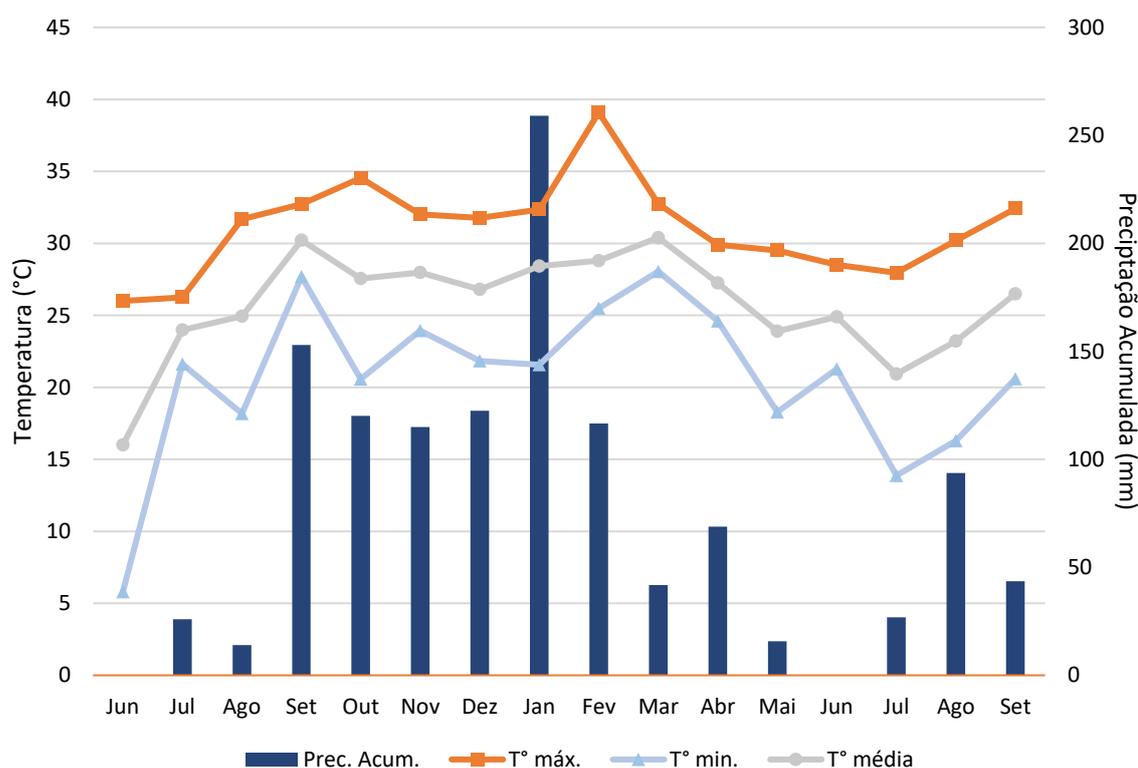
Objetivou-se com este trabalho avaliar as alterações das espécies arbóreas e da distribuição espacial dessas na lavoura, sobre a densidade do dossel das árvores, na *PAR* incidente e nas trocas gasosas do cafeeiro. As hipóteses testadas foram: a) a distribuição espacial das árvores no cafezal, bem como a sua espécie, modifica a densidade do dossel e altera a incidência de *PAR* sob o cafeeiro; b) as trocas gasosas do *C. arabica* são favorecidas pelo sombreamento, porém, em diferentes intensidades em função da distribuição espacial das espécies de árvores.

1.3 Material e Métodos

1.3.1 Caracterização da Área Experimental

O ensaio foi conduzido na safra 2017/18, ente os dias 09 de março a 06 de abril de 2018, e entre 05 e 23 de setembro de 2018, na Fazenda Retiro Santo Antônio, localizada no município de Santo Antônio do Jardim (22°08'42"S de latitude e 46°41'50"W de longitude) no estado de São Paulo, com altitude média de 894m (ALMEIDA, 2016). O clima da região é considerado, segundo a classificação de Köppen (1948), como subtropical úmido de inverno seco e verões temperados.

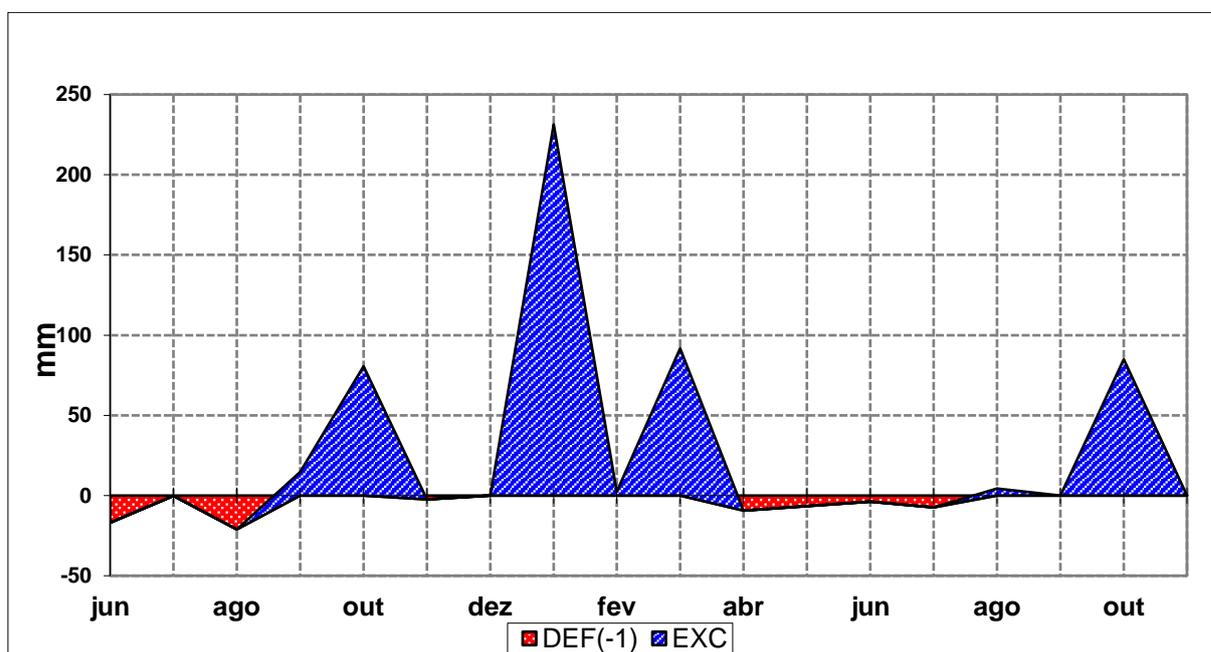
Figura 1.1 – Precipitação pluviométrica (mm), temperaturas média, máxima e mínima (°C) mensal, durante os meses de junho de 2017 e setembro de 2018. Espírito Santo do Pinhal, SP.



Fonte: CIIAGRO - Portal Agrometeorológico e Hidrológico do Estado de São Paulo, 2019.

As temperaturas máximas, mínimas e médias mensais registradas no período da condução do experimento, bem como a precipitação pluviométrica acumulada, no município de Espírito Santo do Pinhal estão sumarizados na figura 1.1 e o extrato do balanço hídrico mensal, contemplando o período entre junho de 2017 e setembro de 2018 na figura 1.2.

Figura 1.2 – Balanço hídrico mensal, entre os meses de junho de 2017 e setembro de 2018. Itupeva, 2018.



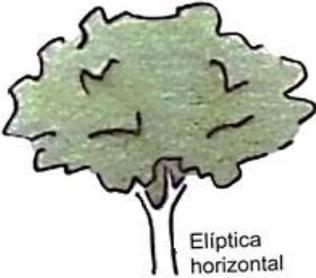
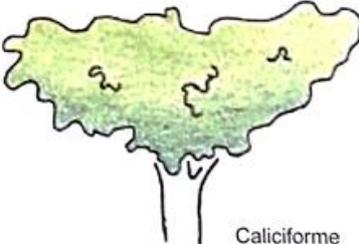
Fonte: INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, 2019.

Para a instalação do experimento foram utilizadas duas áreas adjacentes, um talhão formado em 2010 com cafeeiros da variedade IAC Obatã, no espaçamento de 1,0 x 3,5m, plantados em linhas no sentido Leste-Oeste, arborizado com espécies nativas, no espaçamento de 15,0 x 14,0m, com solo classificado como Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico de acordo com Oliveira (2018). E um talhão vizinho com cafeeiros de mesma variedade, ano de implantação e orientação de plantio, porém, em sistema a pleno sol (Figura 1.3 A) e solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 2006). Ambos talhões estão localizados na altitude média entre 878 e 894 metros, declividade entre 3 e 5°, voltado para o nordeste (ALMEIDA, 2016).

O talhão arborizado possui cinco espécies de árvores, porém somente três foram selecionadas para o ensaio: angico-do-cerrado (*Anadenanthera falcata* (Benth.) Speg.), canafístula (*Peltophorum dubium* (Speg.) Taub.) e cássia rosa (*Cassia grandis* L. f.).

O quadro 1.1, descreve as principais características das árvores no ensaio. As imagens das árvores e sua localização no talhão estão no apêndice, figuras 1 a 4.

Quadro 1.1 – Valores médios do diâmetro a altura do peito (DAP), altura total (H) e caracterização do formato da copa das espécies arbóreas do experimento. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.

Espécie Arbórea	DAP ¹ ---- cm ----	H ² ---- m ----	Formato da Copa ³
<i>Anadenanthera falcata</i>	32,2	16,0	 Elíptica horizontal
<i>Cassia grandis</i>	34,5	11,7	 Globosa
<i>Peltophorum dubium</i>	34,7	15,9	 Caliciforme

¹ Os valores de DAP foram alcançados pela fórmula $DAP = \text{circunferência a altura do peito} / \pi$, sendo a circunferência a altura do peito aferida com fita métrica.

² A altura total foi medida por meio do aplicativo de celular iHypsometer Lite 1.0.3 como proposto por Lima (2016).

³ O formato da copa foi determinado segundo a classificação proposta por Andrade, Salman e Oliveira (2012).

Fonte das imagens: Andrade, Salman e Oliveira (2012), p. 69.

As espécies de sombreamento avaliadas no presente experimento são da família Fabaceae, heliófitas e decíduas. A *Anadenanthera falcata* (Benth.) Speg., popularmente conhecida como angico-do-cerrado ou do-campo, arapicara ou curupaí, é originária do cerrado, tanto de formações primárias quanto secundárias. Quando adulta atinge entre 8 e 16m, sendo seletiva xerófita, com florescimento quando totalmente despida de folhas em setembro-outubro. Sua madeira é recomendada para uso na construção civil e a casca, devido a sua adstringência é utilizada em curtumes.

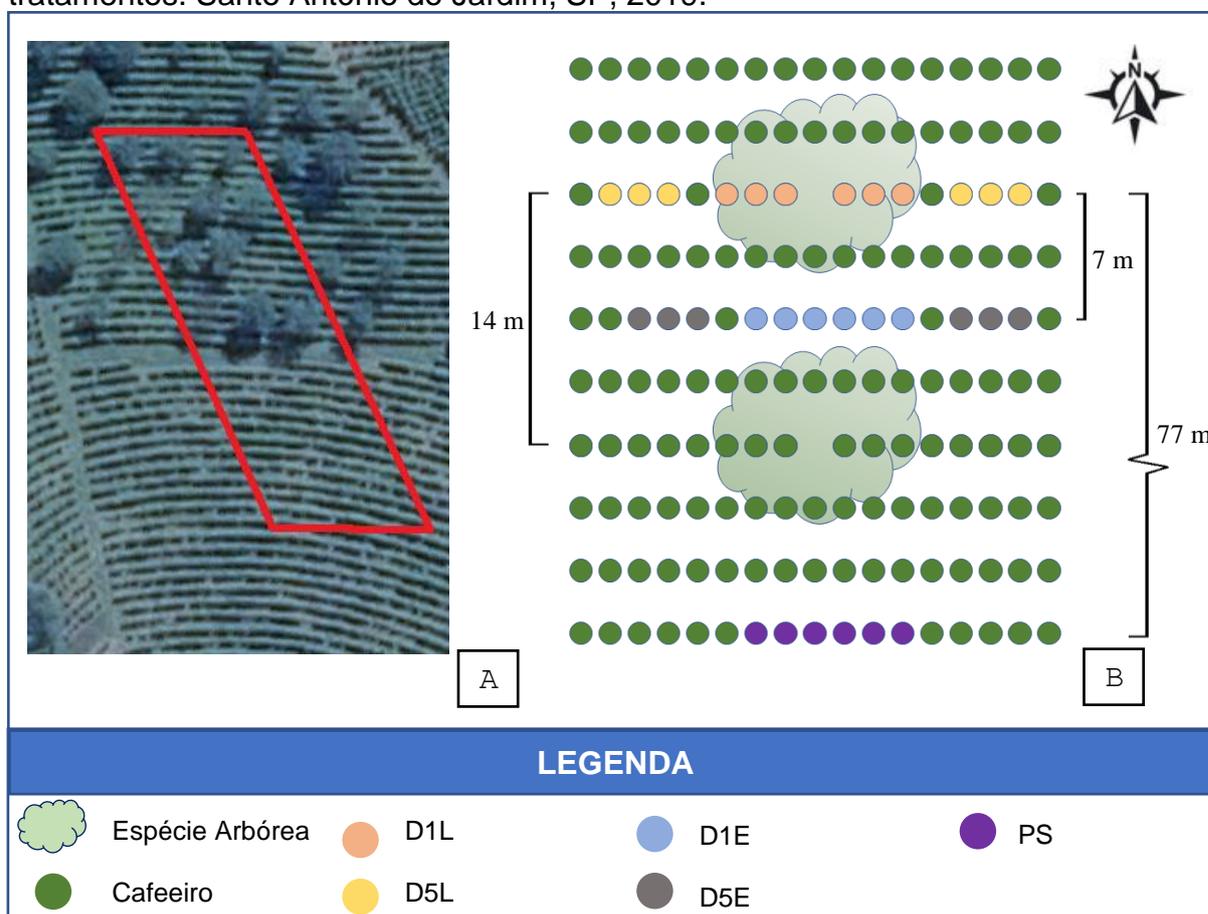
Já a *Cassia grandis* L. f., popularmente conhecida como cássia-grande, canafístula ou geneúna, é proveniente das florestas de terra firme da Amazônia, mas devido ao seu grande potencial ornamental, já está adaptada à região centro-sul do país. Também floresce no final de agosto, quando a planta se encontra totalmente despida de folhas. Quando adulta alcança entre 15 e 20m, com diâmetro do caule de até 0,60m. Além do paisagismo a espécie tem grande potencial madeireiro. Por fim, a *Peltophorum dubium* (Speg.) Taub. é originária das florestas latifoliadas semidecíduas da bacia do Paraná. Popularmente é conhecida como canafístula, farinha-seca ou faveira. Alcançando entre 15 e 25m de altura e até 0,60m de diâmetro do caule, de madeira recomendada para dormentes, tanoaria, serviços de torno e construção civil. Recomendada no paisagismo de plantas isoladas devido a sua ótima sombra (LORENZI, 2009).

A adubação dos cafeeiros seguiu a recomendação do Boletim 100 (RECOMENDAÇÕES, 1997) em conformidade com os resultados das análises químicas dos solos. Foram realizadas quatro adubações com ureia protegida, na dose de 50g por planta, duas aplicações de cloreto de potássio, 10g por planta, uma aplicação de composto orgânico a base de cama de frango, esterco bovino e palha de café, 1kg por planta.

1.3.2 Delineamento Experimental

O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados com três repetições, em esquema de parcela sub-subdividida. As parcelas foram formadas por três tratamentos, correspondendo as espécies arbóreas: T1 – cafeeiros sombreados por *A. falcata*; T2 – cafeeiros sombreados por *P. dubium*; e T3 – cafeeiros sombreados por *C. grandis*. A subparcela correspondeu a distribuição espacial das árvores: dois subtratamentos foram instalados na linha de plantio das árvores, a um (D1L) e cinco metros (D5L) de distância do tronco das árvores; paralelamente a esses pontos, na entrelinha de plantio das árvores, dois outros subtratamentos foram instalados (D1E e D5E); por fim, o último subtratamento (PS) foi alocado a 77 metros de distância da linha de plantio das árvores, de tal forma que incidissem no sistema a pleno sol (Figura 1.3B). As sub-subparcelas corresponderam as faces de exposição dos cafeeiros, norte e sul. A unidade experimental consistiu de seis cafeeiros, três plantas vizinhas de cada lado da árvore, porém, nos subtratamentos D1E e PS foram utilizados seis cafeeiros consecutivos, como mostra a figura 1.3B.

Figura 1.3 – Localização e desenho da área experimental, com destaque para os tratamentos. Santo Antônio do Jardim, SP, 2019.



A. Em vermelho a delimitação da área experimental;

B. D1L – cafeeiros a um metro de distância do tronco das árvores; D5L – cafeeiros a cinco metros de distância do tronco das árvores e, dois pontos paralelos a esses localizados na entrelinha de plantio das árvores, distantes sete metros da linha de plantio das árvores (D1E e D5E); e PS – cafeeiros cultivados a pleno sol, distante 77 metros da linha de plantio das árvores.

1.3.3 Densidade da Copa e Taxa de Contribuição para Cobertura do Dossel

As avaliações das densidades das copas das árvores foram realizadas em setembro de 2018, juntamente com as leituras de trocas gasosas e em março de 2019 utilizando o densiômetro esférico convexo de Lemmon. As leituras foram realizadas duas vezes em cada unidade amostral uma em cada lado do tronco da árvore, a um metro de distância da copa dos cafeeiros. Cada leitura consistiu na média de quatro observações, cada uma voltada para um dos pontos cardeais (norte, leste, sul e oeste), a cerca de 1,6 m do solo, sempre pelo mesmo operador. O densiômetro é um espelho convexo, gradeado com 24 quadrantes de mesmo tamanho. Para a leitura, cada quadrante é mentalmente subdividido em quatro, sendo contados os pontos

ocupados pelo dossel. O total de pontos (máximo de 96) é multiplicado por 1,04. A média dos quatro pontos cardeais e dos dois lados do tronco consistiu no resultado de uma repetição (adaptado de LEMMON, 1954).

Para determinar a taxa de contribuição para ocupação do dossel pela espécie arbórea em avaliação foi utilizada a expressão 1.1:

$$CR = \frac{A}{(A + A')}$$

Expressão 1.1

Onde:

CR: taxa de ocupação do dossel pela espécie arbórea em avaliação;

A: porcentagem de ocupação do dossel pela árvore em avaliação;

A': porcentagem de ocupação do dossel pelas demais árvores do sistema.

1.3.4 Trocas Gasosas e Radiação Fotossinteticamente Ativa

A radiação fotossinteticamente ativa (*PAR*), a temperatura na câmara de amostragem (*T_{ch}*) a taxa de assimilação de gás carbônico (*A*) e a transpiração (*E*) dos cafeeiros foram obtidas por meio de um analisador de gases no infravermelho (IRGA – Infrared Gas Analyser), modelo LCA Pro. Todas as variáveis informadas foram medidas concomitantemente pelo aparelho a cada leitura. As leituras foram realizadas em duas épocas, em março, para a alta demanda energética do cafeeiro (ADE) e em setembro para a baixa demanda (BDE) em dois períodos ao longo do dia: das 7:00 às 09:00 e entre às 11:00 e 13:00 (horas solares). As medições foram realizadas entre os dias 09 de março a 06 de abril de 2018, para época de alta demanda energética do cafeeiro e entre 05 e 23 de setembro de 2018, para a época de baixa demanda energética do cafeeiro.

Todas as coletas foram realizadas em dias de céu limpo (sem a presença de nuvens). A iluminação na câmara de amostragem foi a natural, assim como a umidade relativa do ar. Entretanto a concentração de gás carbônico foi fixada em 400 ppm e o fluxo de ar em 200 $\mu\text{mol s}^{-1}$. Foram realizadas leituras em uma folha por planta e em quatro plantas por sub-subparcela, no segundo par de folhas completamente expandidas de ramos produtivos no terço médio da planta, respeitando-se a posição e inclinação original das folhas, como recomendado por Chaves et al. (2012). Para cada leitura aguardou-se um período entre três e quatro minutos para que a folha entrasse em equilíbrio com o ambiente proporcionado pela câmara de amostragem,

sendo a amostra somente colhida após estabilização da diferença do carbono (três leituras consecutivas e iguais). Para se controlar possíveis efeitos (variações) ambientais ocasionados ao longo do período de coleta dos dados, foi incorporada uma parcela de referência, composta por dois cafeeiros. Em todas as avaliações, passados 50 minutos do período do início das análises, interrompiam-se as mesmas e a parcela de referência era avaliada.

1.3.5 Forma de Análise dos Resultados

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância, por meio do software R Studio. Para eliminar as variações ambientais resultantes do período de coleta dos dados de trocas gasosas, os dados da parcela de referência foram incorporados na ANOVA como covariável.

1.4 Resultados e Discussão

1.4.1 Densidade da Copa (CD) e Taxa de Contribuição para Cobertura do Dossel (COR)

As espécies arbóreas não alteraram as variáveis densidade da copa nas épocas de alta (ADE) e baixa demanda energética (BDE). Entretanto, devido ao comportamento decíduo das espécies avaliadas, em BDE, período que contempla o final do inverno, o dossel se encontrava menos denso que em ABE (tabela 1.1). A deciduidade destas espécies foi relatada por Oliveira (2018).

A baixa ocupação do solo pelo componente florestal não permitiu que as copas das árvores de sombreamento se encontrassem, resultando em um dossel descontínuo sobre os cafeeiros. Como já aguardado, as localidades mais próximas do tronco das árvores apresentaram dossel mais denso (tabela 1.1). Moreira (2015) também observou que os pontos localizados a 1,4 m de distância do tronco de *Acrocomia aculeata* apresentaram dossel mais denso que os localizados a 4,2 m de distância do tronco. Entretanto, o autor relatou taxas de cobertura do dossel superiores à 50%. Os valores de densidade de copa, em média 28,16% em ADE e 19,28% em BDE, encontrados neste experimento são próximos das taxas ideais de sombreamento recomendadas para o cafeeiro por Baliza et al. (2012).

Tabela 1.1 – Densidade do dossel (CD) e taxa de contribuição para cobertura do dossel (COR) das árvores em função da espécie, distribuição espacial e face de exposição solar em épocas de alta (ADE) e baixa (BDE) demanda energética do cafeeiro. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.

	CD		COR	
	----- % -----		----- % -----	
	ADE	BDE	ADE	BDE
Parcela				
<i>A. falcata</i>	31,19	27,63	58,19	61,06
<i>C. grandis</i>	28,49	19,40	49,62	46,12
<i>P. dubium</i>	25,69	10,82	68,01	55,18
CV (%)	54,0	86,5	58,5	74,2
Subparcela				
D1L	32,13	27,01 a	78,66 a	79,59 a
D5L	29,06	19,86 ab	72,18 a	60,63 b
D1E	27,71	15,70 b	46,69 b	40,78 c
D5E	24,92	14,49 b	36,90 b	35,48 c
CV (%)	27,6	49,5	19,8	21,5
Sub-subparcela				
Face Norte	27,09 b	19,91	61,63 a	57,34 a
Face Sul	29,83 a	18,66	55,59 b	50,90 b
CV (%)	17,5	22,4	15,7	18,6

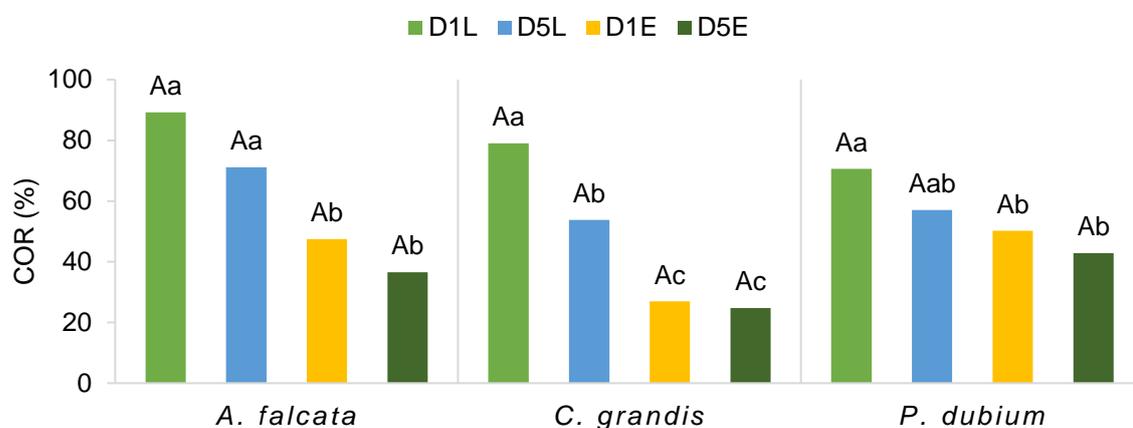
Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey em nível de 5 % de significância. Cafeeiros localizados na linha de plantio das árvores, a um metro (D1L) e cinco metros dos troncos das árvores (D5L); cafeeiros localizados na entrelinha de plantio das árvores, paralelos a D1L e D5L (D1E e D5E).

A face sul tem o dossel mais denso que a face norte em ADE (tabela 1.1). Isso pode ser resultado da declividade e orientação do terreno. O que permite melhor aproveitamento de luz na face norte e estimula o sombreamento da face sul. Segundo Echereme, Mbaekwe e Ekwealor (2015), o formato da copa é moldado pelo potencial genético da planta somado à inúmeros fatores ambientais. Porém, segundo os autores, a competição por luz, tanto entre plantas vizinhas quanto de folhas da própria copa, é geralmente o fator mais relevante. A declividade e orientação do terreno permite maior abundância de luz na face norte da copa das árvores, o que desestimula seu crescimento. Em contrapartida, na face sul, a competição entre os ramos da mesma copa pode resultar em maior crescimento para o aproveitamento da luz.

A taxa de contribuição para cobertura do dossel pelas espécies arbóreas (COR) durante ADE foi superior na linha de plantio das árvores que na entrelinha (tabela 1.1). Resultado aguardado, uma vez que ao se afastar do tronco da árvore em avaliação, aproxima-se das demais árvores do sistema, que passam a ter maior participação na constituição do dossel sobre os cafeeiros na entrelinha das árvores.

Nesta mesma época de avaliação a face de exposição solar norte recebeu maior COR que a face sul. Isso se deu principalmente maior participação da árvore no dossel sobre a face norte da entrelinha. Esse resultado era aguardado uma vez que a copa das árvores de sombreamento cresceu mais na face sul e do fato das parcelas na entrelinha se encontrarem ao sul do tronco das árvores. Em D1E, a diferença na COR da face norte foi de 43% (tabela 1.1).

Figura 1.4 – Taxa de contribuição para cobertura do dossel (COR) de árvores em função da espécie e de sua distribuição espacial no cafezal, em época de baixa demanda energética do cafeeiro. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.



Médias seguidas pela mesma letra, minúscula para a distribuição espacial e maiúscula para a espécie de sombreamento não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey em nível de 5 % de significância. Cafeeiros localizados na linha de plantio das árvores, a um metro (D1L) e cinco metros dos troncos das árvores (D5L); cafeeiros localizados na entrelinha de plantio das árvores, paralelos a D1L e D5L (D1E e D5E).

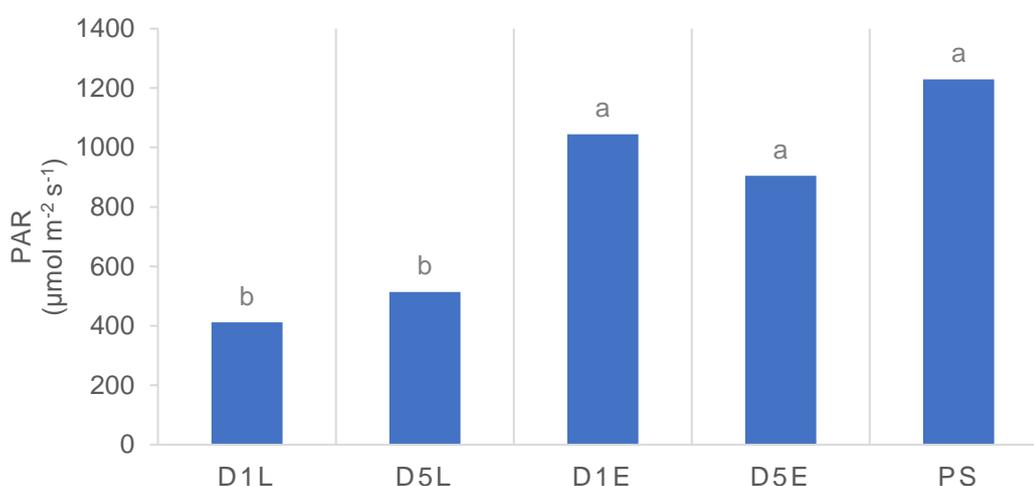
A COR sofreu interação entre os fatores espécie arbórea e a distribuição espacial em BDE. A participação das espécies na constituição do dossel ocorreu de forma diferenciada em função da distribuição espacial (figura 1.4). A espécie *C. grandis*, que apresentou a menor altura (quadro 1.1), contribuiu menos para a formação do dossel dos cafeeiros conforme estes se distanciavam do tronco. Em árvores de menor porte a densidade do dossel é muito maior na linha de plantio das mesmas que na entrelinha, uma vez que a copa se encontra mais próxima do solo (OLIVEIRA, 2014). Já *A. falcata*, teve a mesma importância para a composição do dossel em ambos os pontos avaliados na linha das árvores. Muito provavelmente devido ao formato de sua copa, elíptica horizontal. Por fim, no dossel de *P. dubium* a COR em D1L foi superior aos pontos D1E e D5E, que não diferiram entre si (figura

1.4). Segundo Silva (2006), esse formato de copa, caliciforme, é o mais adequado para dispersão homogênea de sombra.

1.4.2 Radiação Fotossinteticamente Ativa (*PAR*)

Em ADE, no período das 07:00 as 9:00 h, a linha das árvores recebeu menos *PAR* que a entrelinha e o PS, que não se distinguiram entre si (figura 1.5). Esses dados corroboram com o descrito por Pezzopane et al. (2011), que encontraram reduções na radiação solar global em função da distribuição espacial em sistemas arborizados. Segundo os autores, a transmissividade da radiação global é reduzida em até 29% nos pontos mais próximos do caule de *Grevillea robusta* em relação aos demais pontos do sistema arborizado.

Figura 1.5 – Radiação fotossinteticamente ativa (*PAR*) incidente sobre cafeeiros 'IAC Obatã' em função distribuição espacial de espécies arbóreas entre as 07:00 e 09:00 (horas solares) em época de alta demanda energética do cafeeiro. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.

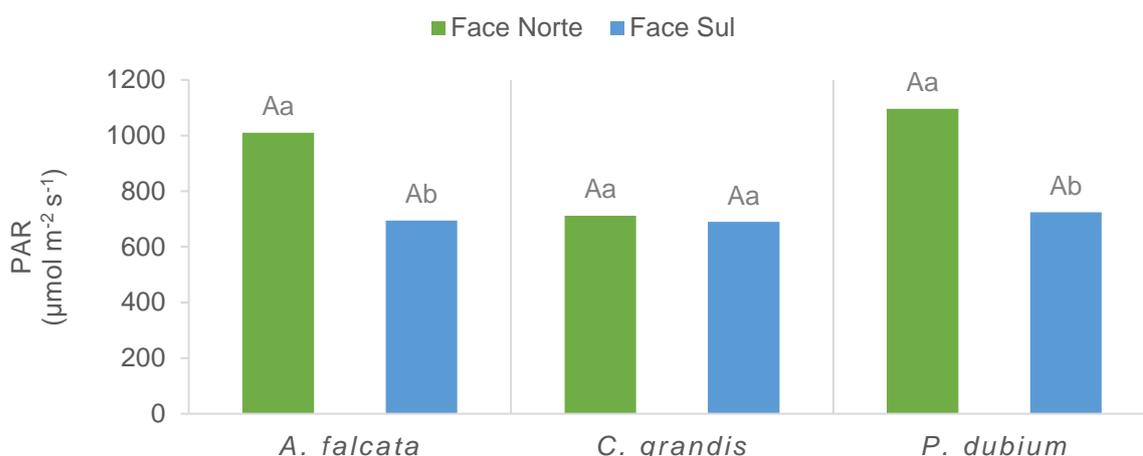


Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey em nível de 5 % de significância. Cafeeiros localizados na linha de plantio das árvores, a um metro (D1L) e cinco metros dos troncos das árvores (D5L); cafeeiros localizados na entrelinha de plantio das árvores, paralelos a D1L e D5L (D1E e D5E); e PS, cafeeiros localiza a 77 metros do tronco das árvores.

Ainda neste mesmo intervalo, porém, em BDE, *A. falcata* e *P. dubium* permitiram maior incidência de *PAR* para os cafeeiros na face de exposição solar norte, o mesmo não foi observado em cafeeiros sob *C. grandis*, onde as faces de exposição solar não se distinguiram entre si (figura 1.6). Segundo Miah et al. (2018),

em sistemas agroflorestais mais densos, ocorre o aumento de luz difusa. Assim, *C. grandis*, que apresenta formato de copa mais compacto e globoso permitiu somente a passagem de luz difusa, o mesmo tipo de luz que atinge a face de exposição solar Sul. Por outro lado, Oliveira (2014) trabalhando com distribuição espacial de diferentes clones de eucalipto em sistemas silvipastoris encontrou que copas compostas por galhos mais finos e pendentes, semelhante ao que ocorre com *A. falcata* interceptavam menos luz. Já para *P. dubium*, a acentuada desfolha, que perdura até o fim do inverno, relatado por Maria (2002) em Porto Ferreira, SP, permitiu maior passagem da luz direta, o que favorece a face norte.

Figura 1.6 – Radiação fotossinteticamente ativa (*PAR*) incidente sobre cafeeiros ‘IAC Obatã’ em função do sombreamento proporcionado por espécies arbóreas e da face de exposição solar, entre as 07:00 e 09:00 (horas solares) em época de baixa demanda energética do cafeeiro. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.

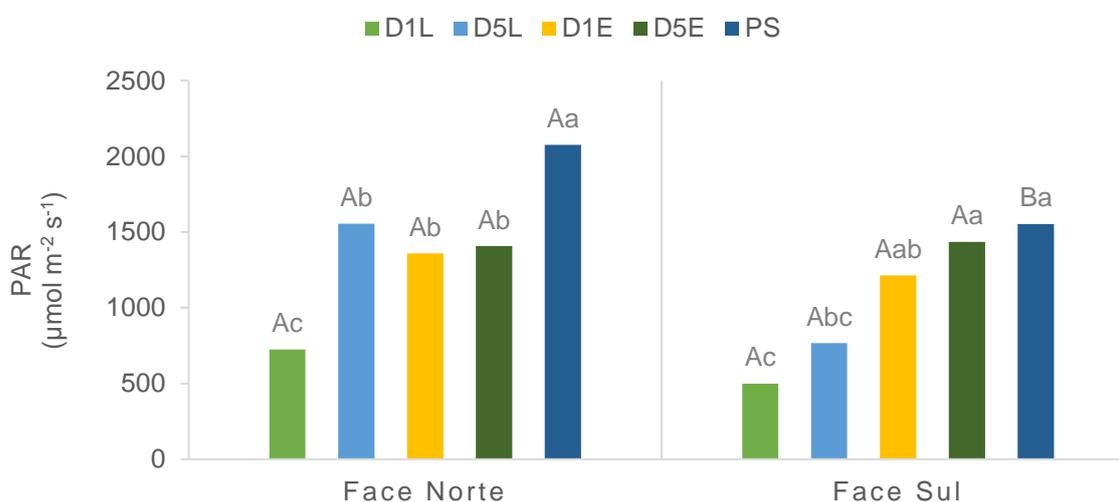


Médias seguidas das mesmas letras, minúsculas para a face de exposição solar e maiúsculas para a espécie arbórea de sombreamento, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey à 5% de significância.

Em ADE no período entre as 11:00 e 13:00 horas, observou-se interação entre a distribuição espacial e as faces de exposição (figura 1.7). A projeção da sombra é influenciada pela posição do sol na abobada celeste (SILVA, 2006). Que varia ao longo do dia e com as estações do ano. Dessa forma, no horário avaliado, a sombra das árvores se concentra sob a projeção da copa, o que explica a maior interceptação de *PAR* em D1L da face norte (figura 1.7). Mesmo assim, a presença das árvores interfere na interceptação da radiação na entrelinha das mesmas, como relatado por Ferreira (2017), porém em menor intensidade.

As árvores difundem a radiação incidente, o que atenua o efeito do autosombreamento do cafeeiro, como evidenciado pela similaridade na *PAR* entre as faces em todos os pontos do SAF (figura 1.7). Porém, na face sul em PS, mesmo a *PAR* sendo superior na linha das árvores, o autosombreamento reduz a quantidade de radiação incidente na face sul (figura 1.7), o que também foi relatado por Custódio et al. (2015), em cultivo orientado nordeste-sudoeste.

Figura 1.7 – Radiação fotossinteticamente ativa (*PAR*) incidente sobre cafeeiros ‘IAC Obatã’ sombreados por espécies arbóreas em função da distribuição espacial e face de exposição solar dos cafeeiros, entre as 11:00 e 13:00 (horas solares) em época de alta demanda energética do cafeeiro. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.



Médias seguidas pela mesma letra, minúscula para a distribuição espacial e maiúscula para a face de exposição solar, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey em nível de 5 % de significância. Cafeeiros localizados na linha de plantio das árvores, a um metro (D1L) e cinco metros dos troncos das árvores (D5L); cafeeiros localizados na entrelinha de plantio das árvores, paralelos a D1L e D5L (D1E e D5E); e PS, cafeeiros localiza a 77 metros do tronco das árvores.

No intervalo entre 11:00 e 13:00 horas solares, em BDE, a distribuição espacial alterou a *PAR* incidente. Cafeeiros em D1L, receberam menos *PAR* que os em D5L (tabela 1.2). Segundo Silva (2006), no inverno, o sol fica mais baixo no horizonte, o que somado a declividade do terreno e o formato da copa das árvores tende a afastar a projeção da sombra. Isso pode explicar os altos valores de *PAR* em D5L em relação a D1L.

Nesta mesma avaliação, a face norte recebeu taxas superiores de *PAR* (tabela 1.2). Araujo et al. (2008), ao avaliarem folhas de diferentes posições na copa do cafeeiro, não encontraram diferenças na *PAR* interceptada pelas faces de exposição

solar. É importante destacar que a orientação do cultivo utilizado no experimento citado foi norte-sul, diferentemente da orientação deste experimento, leste-oeste, o que, devido ao caminhar do sol não provocaria auto sombreamento significativo.

Tabela 1.2 – Radiação fotossinteticamente ativa (*PAR*) incidente em cafeeiros ‘IAC Obatã’ em função da espécie de sombreamento, distribuição espacial das árvores e face de exposição solar, entre as 11:00 e 13:00 (horas solares) em épocas de baixa (BDE) demanda energética do cafeeiro. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.

Parcela	PAR	
	----- $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ -----	
<i>A. falcata</i>	1181,13	
<i>C. grandis</i>	1112,24	
<i>P. dubium</i>	1168,82	
CV (%)	41,7	
Subparcela		
D1L	857,58	b
D5L	1269,79	a
D1E	1195,39	ab
D5E	1070,65	ab
PS	1377,62	a
CV (%)	32,6	
Sub-subparcelas		
Face Norte	1337,64	a
Face Sul	970,49	b
CV (%)	32,0	

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey em nível de 5 % de significância. Cafeeiros localizados na linha de plantio das árvores, a um metro (D1L) e cinco metros dos troncos das árvores (D5L); cafeeiros localizados na entrelinha de plantio das árvores, paralelos a D1L e D5L (D1E e D5E); e PS, cafeeiros localizados a 77 metros do tronco das árvores.

Os padrões encontrados dos valores de *PAR* em função da distribuição espacial das espécies arbóreas, seguem um padrão lógico e esperado. A maior interceptação da *PAR* pelas árvores ocorre em D1L e o ponto mais distante das árvores no sistema sombreado D5E apresenta a menor interceptação, podendo o valor ser próximo do encontrado no pleno sol, como também relatado por Oliveira (2014). Entretanto, Soares et al. (2002) destacam que essa distribuição lógica somente ocorre quando o sol se encontra perpendicular à superfície terrestre no local da avaliação. Assim, a interceptação da *PAR* segue padrões diferentes devido a declividade do terreno, posição das árvores e época do ano (SOARES et al., 2002), corroborando o encontrado.

De uma forma geral, os valores de *PAR* obtidos ficaram próximos ao ponto de saturação luminoso observado por Ronquim et al. (2006) para cultivar IAC Obatã, de $831 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, permitindo inferir que a interceptação da *PAR* realizada pelas espécies arbóreas não trouxeram prejuízos para o cafeeiro, pelo contrário, proporcionou melhores condições para a fotossíntese.

1.4.3 Temperatura na Câmara de Amostragem (T_{ch})

Tabela 1.3 – Temperatura da câmara de amostragem (T_{ch}) em cafeeiros ‘IAC Obatã’ em função da espécie de sombreamento, distribuição espacial das árvores e face de exposição solar em épocas de alta (ADE) e baixa (BDE) demanda energética do cafeeiro. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.

Parcela	ADE		BDE	
	° C		° C	
	07:00 – 09:00	11:00 – 13:00	07:00 – 09:00	11:00 – 13:00
<i>A. falcata</i>	31,0	38,0	28,9	34,4
<i>C. grandis</i>	30,7	38,1	24,2	36,5
<i>P. dubium</i>	31,4	38,2	30,8	39,0
CV (%)	10,0	9,3	30,7	9,3
Subparcela				
D1L	28,7 b	37,2 a	26,0 b	35,5 b
D5L	28,6 b	37,3 a	26,0 b	35,7 ab
D1E	32,2 a	37,9 a	27,4 b	37,1 ab
D5E	32,1 a	37,9 a	27,2 b	37,1 ab
PS	33,6 a	40,1 a	33,2 a	38,0 a
CV (%)	10,7	7,4	11,3	6,9
Sub-subparcela				
Face Norte	30,7	28,2	27,4 b	36,4
Face Sul	31,3	38,0	28,5 a	37,0
CV (%)	5,9	4,2	2,8	3,3

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey em nível de 5 % de significância. Cafeeiros localizados na linha de plantio das árvores, a um metro (D1L) e cinco metros de distância do tronco das árvores (D5L); cafeeiros localizados na entrelinha de plantio das árvores, paralelos a D1L e D5L (D1E e D5E); e PS, cafeeiros localizados a 77 metros do tronco das árvores, incidindo em um talhão a pleno sol.

As espécies arbóreas não alteram a temperatura da câmara de amostragem T_{ch} (temperatura do ar). Entretanto, a distribuição espacial das árvores afetou a temperatura, com exceção do intervalo entre as 11:00 e as 13:00 durante ADE (tabela 1.3). As menores temperaturas foram observadas nos pontos mais próximos dos troncos das árvores, entre 07:00 e 09:00 em ADE e entre as 11:00 e 13:00 durante BDE (tabela 1.3). Diferenças entre as temperaturas do ar em função da distribuição

espacial das árvores no sistema também foram relatadas por Pezzopane et al. (2011 a), Pezzopane et al. (2011 b) e Pezzopane et al. (2010), que encontraram temperaturas menores em pontos mais próximos dos troncos das árvores.

A T_{ch} em PS foi superior a todos os pontos sombreados durante BDE, entre as 07:00 e 09:00 (tabela 1.3). Resultado semelhante foi encontrado por Ricci et al. (2013), que compararam a temperatura no filoplano de cafeeiros a pleno sol e sombreados por glirírcia (*Gliricidia sepium*) ou eritrina (*Erythrina poeppigiana*).

Durante BDE, a face de exposição solar norte se apresentava mais fresca que a sul no intervalo entre as 07:00 e 09:00 (tabela 1.3). Esse resultado é contrário ao que era esperado. Marur e Faria (2006) relataram ligação direta entre a *PAR* incidente e temperatura da folha. Os dados da *PAR* para esse horário e época indicariam que a face norte deveria ser mais quente.

A temperatura do ar ao redor dos cafeeiros é de extrema importância uma vez que este é um dos principais fatores que regem a velocidade de maturação dos frutos, sendo que uma maturação mais lenta possibilita a produção de grãos de qualidade sensorial superior (VAAST, 2006).

1.4.4 Transpiração do Cafeeiro (*E*)

Durante ADE, no período entre as 07:00 e as 09:00 a *E* foi superior em cafeeiros em PS (tabela 1.4). Segundo Lin (2010), a transpiração dos cafeeiros é fortemente influenciada pela presença das árvores de sombreamento, visto que estas alteram o microclima e a energia radiante nos sistemas sombreados. A mesma autora relatou que a transpiração entre cafeeiros em condições de sombreamento entre 10 e 30% ou entre 30 e 65% não diferiram, concordando como os observados nesse experimento.

Nesta mesma época, porém entre as 11:00 e as 13:00 a *E* sofreu interação dos fatores distribuição espacial x face de exposição solar (figura 1.8). A *E* é fortemente afetada pela condutância estomática (g_s), a falta de água no solo estimula o fechamento estomático (TAIZ et al., 2017). Assim, mesmo com condições microclimáticas adequadas, D1L de *C. grandis* pode estar com baixa disponibilidade de água no solo, devido a maior competição interespecífica por este recurso, nesta localidade como evidenciado por Morinigo et al. (2017), na mesma área experimental e Coelho et al. (2010). Já em D5L de *P. dubium* e nas entrelinhas (D1E e D5E) de *C. grandis* a abertura estomática pode ter sido mantida por condições microclimáticas

adequadas. Tais como redução déficit de pressão de vapor atmosférico, redução dos ventos e temperaturas (FRANCK; VAAST, 2009).

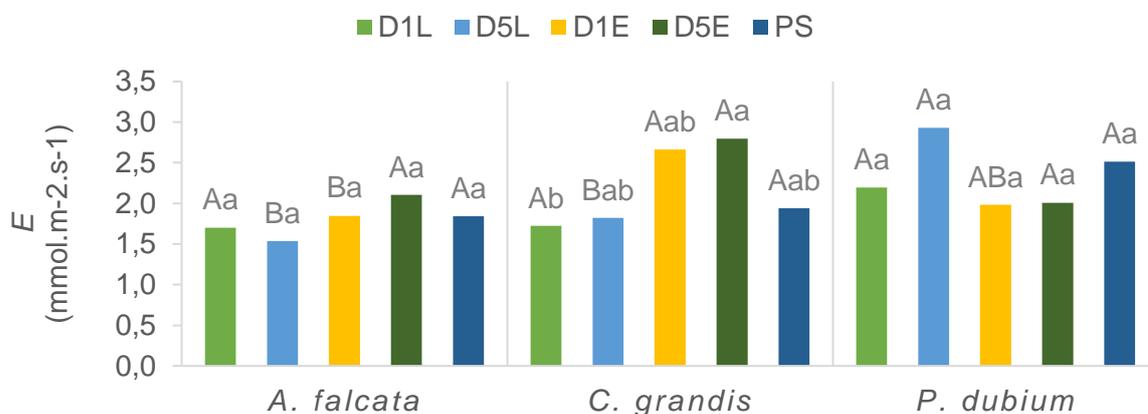
Tabela 1.4 – Transpiração (E) de cafeeiros ‘IAC Obatã’ em função da espécie de sombreamento, distribuição espacial das árvores e face de exposição solar em épocas de alta (ADE) e baixa (BDE) demanda energética do cafeeiro. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.

Parcela	ADE		BDE	
	mmol.m ⁻² .s ⁻¹		mmol.m ⁻² .s ⁻¹	
	07:00 – 09:00	11:00 – 13:00	07:00 – 09:00	11:00 – 13:00
<i>A. falcata</i>	1,49	2,81	1,81	3,21
<i>C. grandis</i>	1,97	2,15	2,19	4,25
<i>P. dubium</i>	2,35	4,12	2,33	3,83
CV (%)	59,3	46,3	20,1	19,2
Subparcela				
D1L	1,35 b	2,82 b	1,87	3,27
D5L	1,53 b	2,83 b	2,01	4,02
D1E	1,87 b	2,48 b	2,16	3,79
D5E	1,93 b	2,49 b	2,30	4,24
PS	3,00 a	4,53 a	2,01	3,50
CV (%)	44,4	51,8	28,5	49,2
Sub-subparcela				
Face Norte	2,00	3,08	2,08	4,15 a
Face Sul	1,88	2,98	2,13	3,38 b
CV (%)	30,1	22,3	36,1	31,7

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey em nível de 5 % de significância. Cafeeiros localizados na linha de plantio das árvores, a um metro (D1L) e cinco metros de distância do tronco das árvores (D5L); cafeeiros localizados na entrelinha de plantio das árvores, paralelos a D1L e D5L (D1E e D5E); e PS, cafeeiros localiza a 77 metros do tronco das árvores, incidindo em um talhão a pleno sol.

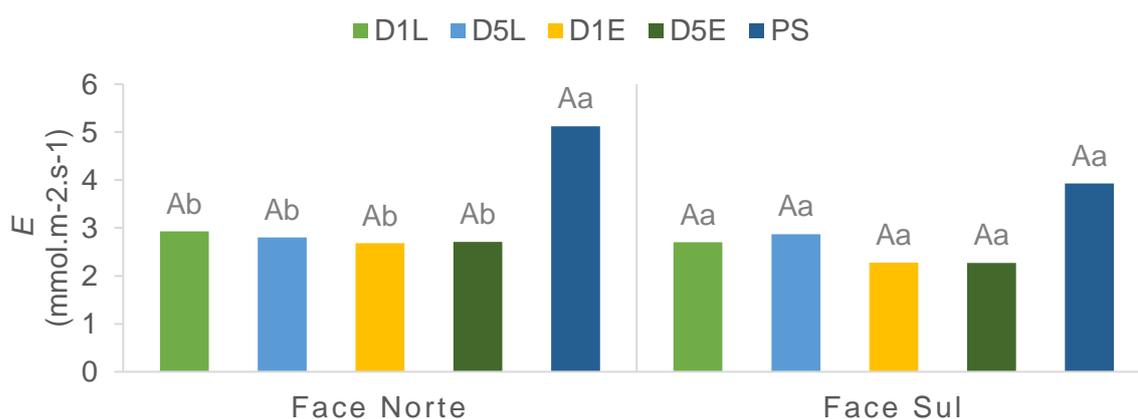
Nas entrelinhas, ainda ocorre efeito de atenuação da *PAR* incidente sobre os cafeeiros (tabela 1.2; figura 1.7), porém a competição direta por recursos, como observado em D1L, é bem menos provável. Segundo Padovan et al. (2018), as espécies de sombra contribuem para a redução da evaporação de água do solo no sistema como um todo na ordem 14%, além de contribuir com mais 8,5% à 19% na umidade relativa do ar por evapotranspiração. , Gerando ambiente que permite abertura estomática mais prolongada e redução dos valores de déficit de vapor atmosférico (DaMATTA, 2004; RONQUIM, 2007).

Figura 1.8 – Transpiração (E) de cafeeiros ‘IAC Obatã’ em função das espécies arbóreas de sombreamento e da distribuição espacial, entre as 11:00 e 13:00 (horas solares) em época de alta demanda energética do cafeeiro em Santo Antônio do Jardim/SP, 2018.



Médias seguidas das mesmas letras, minúsculas para a distribuição espacial e maiúsculas para a espécie de sombreamento, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey à 5% de significância. Cafeeiros localizados na linha de plantio das árvores, a um metro e cinco metros (D1L e D5L); cafeeiros localizados na entrelinha de plantio das árvores, paralelos a D1L e D5L (D1E e D5E); e PS, cafeeiros localizados a 77 metros do tronco das árvores, incidindo em um talhão a pleno sol

Figura 1.9 – Transpiração (E) de cafeeiros ‘IAC Obatã’ sombreados por espécies arbóreas nativas em função da distribuição espacial e face de exposição solar dos cafeeiros, entre as 7:00 e 9:00 (horas solares) em época de baixa demanda energética do cafeeiro em Santo Antônio do Jardim/SP, 2018.



Médias seguidas de letras iguais, minúsculas para a distribuição espacial e maiúsculas para a face de exposição solar do cafeeiro, não diferem entre si segundo o teste de Tukey à 5% de probabilidade. Cafeeiros localizados na linha de plantio das árvores, a um metro e cinco metros (D1L e D5L); cafeeiros localizados na entrelinha de plantio das árvores, paralelos a D1L e D5L (D1E e D5E); e PS, cafeeiros localizados a 77 metros do tronco das árvores, incidindo em um talhão a pleno sol

Já no intervalo das 11:00 as 13:00 durante BDE, não foram encontradas diferenças entre as faces de exposição solar para a E (figura 1.9). Entretanto, na face norte, os cafeeiros em PS transpiravam mais que os das demais distâncias, o que não foi observado na face sul (figura 1.9). Trabalhando com cafeeiros 'IAC Obatã' nos mesmos horários e épocas que os avaliados neste ensaio, Ronquim (2007) encontrou E entre 1,5 e 2,0 $\text{m mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, sendo que em dias nublados, quando as condições de PAR foram semelhantes às impostas pela arborização, neste experimento, essas taxas foram mais próximas do encontrado no talhão arborizado. Entretanto, a E em PS, observadas neste ensaio, foi muito elevada para o horário, em comparação os resultados encontrados por Ronquim (2007). Destaca-se ainda que em BDE o balanço hídrico aponta para o início de um período de escassez hídrica nesse período, o que reduz a eficiência hídrica do cafeeiro em PS.

1.4.5 Taxa de Assimilação de Carbono (A)

Mesmo a PAR incidente sob os cafeeiros em D1L sendo inferior que em PS (figura 1.5) a A se manteve semelhante entre os pontos, o que indica aumento na eficiência de aproveitamento da radiação pelos cafeeiros em D1L e D5L durante ADE no intervalo das 07:00 às 09:00 (tabela 1.5).

Segundo Charbonnier et al. (2017), reduções de até 60% na irradiância não interferem na produtividade primária líquida do cafeeiro, o que se deve a um aumento de até 50% na eficiência do uso da radiação, possibilitando que as mesmas taxas fotossintéticas sejam atingidas com menores valores de PAR . Os valores relativamente baixos da taxa fotossintética observada nesse experimento no mês de março em média 3,7 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, também foram observados por Araujo et al. (2008) e Chaves et al. (2012), para cafeeiros a pleno sol.

Os cafeeiros localizados na face de exposição solar Norte apresentaram taxa fotossintética de 4,14 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, superior as dos cafeeiros na face Sul, com 3,25 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (tabela 1.5). Araujo et al. (2008) não encontraram diferenças para as taxas fotossintéticas de cafeeiros em faces de exposição solar opostas. Entretanto, a orientação de plantio em seu ensaio era leste-oeste. Os autores, porém, encontraram diferenças na A entre folhas com alturas diferentes na copa, sendo que as diferenças na PAR relatada pelos autores, assemelham-se ao observado entre as faces opostas deste experimento. Esses fatos indicam que, nas condições microclimáticas deste

experimento, mesmo com a baixa ocupação do dossel pelas espécies arbóreas, o comportamento fisiológico do cafeeiro foi alterado.

Tabela 1.5 – Taxa de assimilação de carbono (*A*) de cafeeiros ‘IAC Obatã’ em função da espécie de sombreamento, distribuição espacial das árvores e face de exposição solar, entre as 07:00 e 09:00 (hora solar) em épocas de alta (ADE) e baixa (BDE) demanda energética do cafeeiro. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.

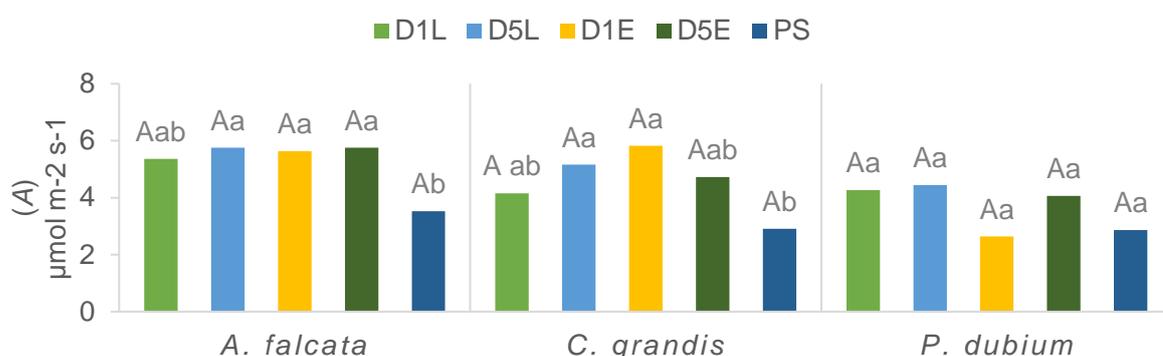
	A	
	----- $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ -----	
	ADE	BDE
Parcela		
<i>A. falcata</i>	4,02	2,44
<i>C. grandis</i>	3,40	2,24
<i>P. dubium</i>	3,67	2,68
CV (%)	37,1	139,8
Subparcela		
D1L	3,63 a	2,78
D5L	3,21 a	2,64
D1E	3,36 a	2,48
D5E	3,32 a	2,73
PS	4,96 a	1,63
CV (%)	57,5	51,2
Sub-subparcela		
Face Norte	4,14 a	2,24
Face Sul	3,25 b	2,67
CV (%)	37,5	47,5

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey em nível de 5 % de significância. Cafeeiros localizados na linha de plantio das árvores, a um metro (D1L) e cinco metros de distância do tronco das árvores (D5L); cafeeiros localizados na entrelinha de plantio das árvores, paralelos a D1L e D5L (D1E e D5E); e PS, cafeeiros localizados a 77 metros do tronco das árvores, incidindo em um talhão a pleno sol.

No período entre 11:00 e 13:00 h, em ADE, os cafeeiros sombreados por *A. falcata* apresentaram *A* inferior em PS, $3,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (figura 1.10). Já os cafeeiros sombreados por *C. grandis* em D5L e D1E alcançaram *A* superior quando comparados com os cafeeiros em PS, $5,2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, $5,8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e $3,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente. Não houve diferença para *A* de cafeeiros sombreados por *P. dubium* em função da distribuição (figura 1.10).

Diferentemente do observado para *A. falcata* e D5L de *C. grandis*, (figura 1.10), Ferreira (2017) encontrou *A* superior em cafeeiros na entrelinha de plantio das árvores de sombreamento. O mesmo autor também observou maior *A* em cafeeiros no sistema sombreado em relação ao pleno sol.

Figura 1.10 – Taxa de assimilação de Carbono (A) de cafeeiros ‘IAC Obatã’ sombreados por árvores nativas em função da espécie de sombreamento e sua distribuição espacial no cafezal entre as 11:00 e 13:00 (horas solares) em época de baixa demanda energética do cafeeiro em Santo Antônio do Jardim/SP, 2018.



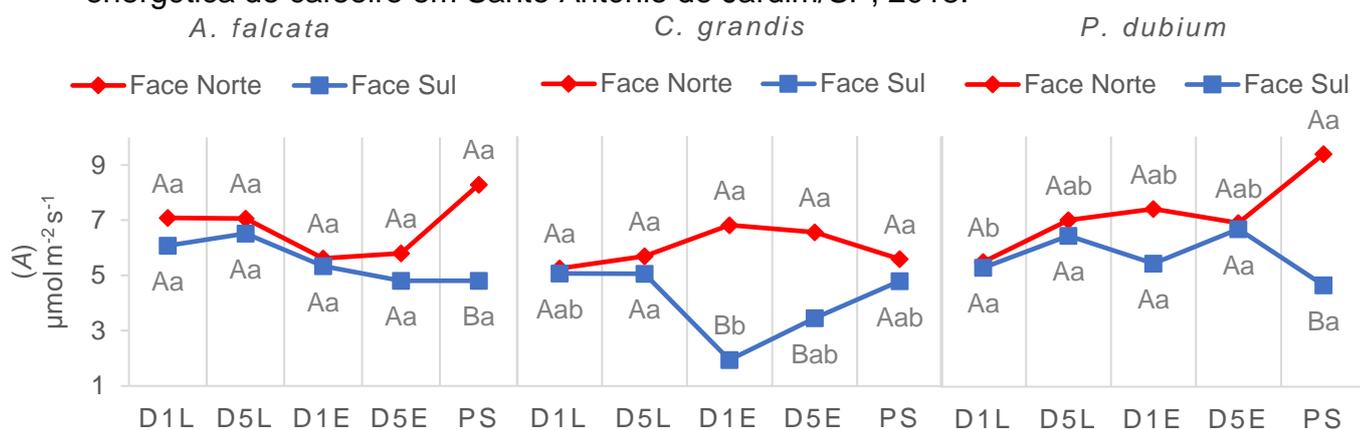
Médias seguidas das mesmas letras, minúsculas para a distribuição espacial e maiúsculas para a espécie de sombreamento, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey à 5% de significância. Cafeeiros localizados na linha de plantio das árvores, a um metro e cinco metros (D1L e D5L); cafeeiros localizados na entrelinha de plantio das árvores, paralelos a D1L e D5L (D1E e D5E); e PS, cafeeiros localizados a 77 metros do tronco das árvores, incidindo em um talhão a pleno sol.

Também entre 07:00 e 09:00 horas, em BDE, houve efeito da interação espécie arbórea x distribuição espacial x face de exposição solar na taxa de fotossíntese. Em relação as faces de exposição solar, a face norte produziu A superior que a sul em PS de *A. falcata* e *P. dubium* e nos cafeeiros em D1E e D5E da *C. grandis* (figura 1.11). Ainda para cafeeiros sombreados por *C. grandis*, na face sul a A de D1L foi maior que a em D1E. Na face norte de cafeeiros sombreados por *P. dubium*, em D1L, apresentaram A inferior que os localizados em PS, com 5,49 e 9,37 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente (figura 1.11). Cafeeiros sombreados por *P. dubium* apresentaram A superior aos sombreados por *C. grandis* nos pontos D1E, D5E e PS. Sendo que as taxas de assimilação de carbono dos cafeeiros sombreados por *A. falcata* se igualaram aos sombreados por *P. dubium* em D1E e apresentaram comportamento intermediário em D5E e PS (figura 1.11).

Os valores de A verificados nessa época de avaliação, entre 1,9 e 9,4 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, aproximam-se da faixa comumente encontrada nos cafeeiros mencionada por DaMatta et al. (2004), que vai de 4 a 12 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Os cafeeiros sombreados apresentam plasticidade fenotípica alterando características morfológicas e fisiológicas, como redução da espessura da folha, número e tamanho dos estômatos (BALIZA et al., 2012), aumento no tamanho das folhas (RICCI et al., 2013), do número

de grana por cloroplastos e de tilacoides por granum (DaMATTA, 2004). Adaptações que permitem o aumento da eficiência no uso da luz, possibilitando que *A* fosse mantida à níveis similares, mesmo com a redução da *PAR*.

Figura 1.11 – Taxas de assimilação de Carbono (*A*) de cafeeiros em função da espécie de sombreamento, sua distribuição espacial no cafezal e face de exposição solar do cafeeiro entre as 7:00 e 9:00 (horas solares) em época de baixa demanda energética do cafeeiro em Santo Antônio do Jardim/SP, 2018.



Médias seguidas de letras iguais, minúsculas para a distribuição espacial e maiúsculas para a face de exposição solar do cafeeiro, não diferem entre si segundo o teste de Tukey à 5% de probabilidade. Cafeeiros localizados na linha de plantio das árvores, a um metro e cinco metros (D1L e D5L); cafeeiros localizados na entrelinha de plantio das árvores, paralelos a D1L e D5L (D1E e D5E); e PS, cafeeiros localizados a 77 metros do tronco das árvores, incidindo em um talhão a pleno sol

1.5 Conclusões

A densidade e ocupação do dossel não é homogênea ao longo do ano e sofre alterações em função da distribuição espacial das árvores no cafezal, não sendo afetada pela espécie de sombreamento. Resultando em variações na *PAR* em função da distribuição espacial e da época do ano, sendo que as árvores reduzem a *PAR* para níveis mais propícios ao aproveitamento do cafeeiro, principalmente na linha de plantio das árvores. A proximidade do tronco das árvores de sombreamento resulta em redução das temperaturas do ar. Cafeeiros a pleno sol têm maior transpiração que os sombreados e sofrem maiores reduções na taxa de assimilação de carbono ao longo do dia.

1.6 Literatura citada

- ALMEIDA, A. C. S de. **Geotecnologias na gestão de propriedades agrícolas cafeeiras**. 2016, 45 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Agroecologia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2016.
- ALVARENGA, A. de P.; VALE, R. S. do; COUTO, L.; VALE, F. A. F. do; VALE, A. B. do. Aspectos fisiológicos da cultura do café e seu potencial produtivo em sistemas agroflorestais. **Agrossilvicultura**, v. 1, n. 2, p. 195-202, 2004.
- ANDRADE, C. M. S. de; GARCIA, R.; COUTO, L.; PEREIRA O. G. Transmissão de luz em sistemas silvipastoris com eucalipto. **Revista Árvore**. v. 26, n. 1, pp. 19-23, 2002.
- ANDRADE, C. M. S. de; SALMAN, A. K. D.; OLIVEIRA, T. K. de. **Guia arbopasto: manual de identificação e seleção de espécies arbóreas para sistemas silvipastoris**. Brasília, DF: Embrapa, 345p. 2012.
- ARAUJO, W. L.; DIAS, P. C.; MORAES, G. A. B. K.; CELIN, E. F.; CUNHA, R. L.; BARROS, R. S.; DaMATTa, F. M. Limitations to photosynthesis in coffee leaves from different canopy positions. **Plant Physiology and Biochemistry**. v. 46, p. 884-890, 2008.
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J.; ÁVILA, A. M. H. Impactos das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1057-1064, nov., 2004
- ATHAYDE, E. A. **Influência da borda e do isolamento na fenologia e no sucesso reprodutivo de *Anadenanthera Falcata* (Benth.) Speg. (Fabaceae) em uma região de cerrado Stricto Sensu, Itirapina, São Paulo**. 2007. 41 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro, 2007.
- BALIZA, D. P.; CUNHA, R. L. da; CASTRO, E. M. de; BARBOSA, J. P. R. A. D.; PIRES, M. F.; GOMES, R. A. Trocas gasosas e características estruturais adaptativas de cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 3, p. 250-258, set.-dez., 2012.
- BEER, J.; MUSCHLER, R.; KASS, D.; SOMARRIBA, E. Shade management in coffee and cacao plantations. **Agroforestry Systems**, v. 38, n 1-3, p. 139-164, 1998.
- BIANCHINI, E. **Ecologia de populações de *Chrysophyllum gonocarpum* (Mart. & Eichler) Engl. no Parque Estadual Mata dos Godoy**. Dissertação (Doutorado em Ciências Biológicas) 1998 - Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.
- CAMARGO, M. B. P. de. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. **Bragantia**, v. 69, n.1, pp. 239-247, 2010.

CAMPANHA, M. M.; SANTOS, R. H. S.; FREITAS, G. B. de; MARTINEZ, H. E. P.; JAMILLO-BOTERO, C.; GARCIA, S. L. Análise comparativa das características da serrapilheira e do solo em cafezais (*Coffea arabica* L.) cultivados em sistema agroflorestal e em monocultura, na Zona da Mata MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 805-812, 2007.

Conselho dos Exportadores de Café do Brasil, CECAFÉ. **Relatório Mensal**

Dezembro de 2018. Disponível em:

<<https://www.cecafe.com.br/publicacoes/relatorio-de-exportacoes/>>. Acesso em: 11 fev. 19.

CHARBONNIER, F.; ROUSPARD, O.; MAIRE, G. le; GUILLEMOT, J.; CASANOVES, F.; LACOINTE, A.; VAAST, P.; ALLINNE, C.; AUDEBERT, L.; CAMBOU, A.; CLÉMENT-VIDAL, A.; DEFRENET, E.; SUURSMA, R. A.; JARRI, L.; JOURDAN, C.; KHAC, E.; LEANDRO, P.; MEDLYN, B. E.; SAINT-ANDRE, L.; THALER, P.; MEERSCHKE, K. Van Deb; AGUILAR, A. B.; LEHNER, P.; DREYER, E. Increases light-use efficiency sustains net primary productivity of shaded coffee plants in agroforestry system. **Plant, Cell and Environment**, v. 40, p. 1592-1608, 2017.

CHAVES, A. R.M.; MARTINS, S. C. V.; BATISTA, K. D. CELIN, E. F.; DaMATTA, F. M. Varying leaf-to-fruit ratios affect branch growth and dieback, with little to no effect on photosynthesis, carbohydrate or mineral pools, in different canopy positions of field-grown coffee trees. **Environmental and Experimental Botany**, v. 77, p. 207-208, 2012.

CHUERUBIM, M. L. Análise da variação da radiação solar na superfície terrestre com base no cálculo da irradiância para diferentes latitudes. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 6, n. 1, 2012.

COELHO, R. A.; MATSUMOTO, S. N.; LEMOS, C. L.; SOUZA, F. A. de. Nível de sombreamento, umidade do solo e morfologia do cafeeiro em sistemas agroflorestais. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n.1, p. 095-102, jan.-fev., 2010.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira Café**. v. 5 - Safra 2018 - n.3 - Quinto levantamento | JANEIRO 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/index.php/info-agro/safra/cafe>>. Acesso em 02 fev. 2019.

CUSTÓDIO, A. A. de P.; LEMOS, L. B.; MINGOTTE, F. L. C.; POLLO, G.Z.; FIORENTIN, C. F.; ALVES, G. S. P. Qualidade do café sob manejo de irrigação, faces de exposição solar e posições na planta. **Irriga**, v. 20, n. 1, pp. 177-192, jan.-mar., 2015.

DaMATTA, F. M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. **Field Crops Research**, v. 86, p. 99-114, 2004.

DaMATTA, F. M.; RONCHI, C. P.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 4, pp. 485-510, 2007.

ECHEREME C. B.; MBAEKWE E. I.; EKWEALOR K. U. Tree Crown Architecture: Approach to Tree Form, Structure and Performance: **A Review. International Journal of Scientific and Research Publications**, v. 5, n. 9, set., 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

FERREIRA, R. de P. **Ecofisiologia do cafeeiro sombreado com macaúba em sistemas agroflorestais**. 2017, 56 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

FRANCK, N.; VAAST, F. Limitation of coffee leaf photosynthesis by stomatal conductance and light availability under different shade levels. **Trees**, v. 23, p. 761-769, 2009.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de tierra. 1 ed., México, Buenos Aires: Fondo de cultura económica. 1948.

LEMMON, P. E. A new instrument for measuring forest overstory density. **Journal of Forestry**, v. 55, n. 9, set., 1957.

LIN, B. B. The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 150, pp. 510-518, 2010.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2009. 384 p.

MARIA, V. R. B. **Estudo da periodicidade do crescimento, fenologia e relação com a atividade cambial de espécies arbóreas tropicais de floresta estacionais semidecíduas**. 2002 Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

MARUR, C. J.; FARIA, R. T. de. Photosynthesis of individual leaves in a coffee plant. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 28, n. 3, pp. 331-335, jul.-set., 2006.

MORINIGO, K. P. G.; GUIMARÃES, N. de F.; STOLF, R.; SAIS, A. C.; SOUZA, M. D. B.; GALLO, A. de S.; FONTANETTI, A. Efeito da distribuição de árvores sobre atributos do solo em cafeeiro sombreado. **Coffee Science**, v. 12, n. 4, pp. 517-525, out.-dez., 2017.

MUSCHLER, R. G. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. **Agroforestry Systems**, v. 85, p. 131-139, 2001.

OLIVEIRA, E. S. de. **Arranjos de árvores na decomposição de serapilheira e atributos físicos do solo em cafezal**. 2018, 58 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2018.

PADOVAN, M. P.; CORTEZ, V. J.; NAVARRETE, L. F.; NAVARRETE, E. D.; DEFFNER, A. C.; CENTENO, L. G.; MUNGUÍA, R.; MARRIOS, M.; VÍLCHEZ-MENDOZA, J. S.; VEJA-JARQUÍN, C.; BROOK, R. M.; RAPIDEL, B. Root distribution and water use in coffee shaded with *tabebuia rosea* Bertol. and *Simarouba glauca* DC. compared to full sun coffee in sub-optimal environmental conditions. **Agroforest Systems**, v. 89, p. 857-868, 2015.

PADOVAN, M. P.; BROOK, R. M.; BARRIOS, M.; CRUZ-CASTILLO, J. B.; VILCHEZ-MENDOZA, S. J.; COSTA, A. N.; RAPIDEL, B. Water loss by transpiration and soil evaporation in coffee shaded by *Tabebuia rosea* bertol. and *Simarouba glauca* dc. compared to unshaded coffee in sub-optimal environmental conditions. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 248, pp. 1-14, 2018.

PERFECTO, I.; RICE, R. A.; GREENBERG, R.; Van der VOORT, M. E. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. **Bio Science**, v. 46, p. 598-608

PEZZOPANE, J. R. M.; MARSETTI, M. M. S.; SOUZA, J. M. de; PEZZOPANE, J. E. M. Condições microclimáticas em cultivo de café conilon a pleno sol e arborizado com noqueira macadâmia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 6, p. 1257-1263, jun. 2010.

PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; GALLO, P. B. Caracterização microclimática em cultivo consorciado café/banana. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, **Campina Grande**, v. 11, n. 3, p. 256-264, 2007.

PEZZOPANE, J. R. M.; SOUZA, P. S.de; ROLIM, G. de S.; GALLO, P. B. Microclimate in coffee plantation grown under grevillea trees shading. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, n. 2, pp. 201-206, 2011a

PEZZOPANE, J. R. M.; MARSETTI, M. M. S.; FERRARI, W. R.; PEZZOPANE, J. E. M. Microclimatic alterations in a conilon coffee crop grown shaded by green dwarf coconut trees. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 4, p. 865-871, out.-dez., 2011 b.

PRADO, S. G.; COLLAZO, J. A.; IRWIN, R. E. Resurgence of specialized shade coffee cultivation: Effects on pollination services and quality of coffee production. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 265, p. 576-575, 2018.

RECOMENDAÇÕES de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. 285 p. (Boletim Técnico ; n. 100).

RICCI, M. dos S. F.; COSTA, J. R.; OLIVEIRA, N. G. de. Utilização de componentes principais para analisar o comportamento do cafeeiro a pleno sol e sombreado. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 1, pp. 44-54, jan.-abr., 2011.

RICCI, M. dos S. F.; COCHETO JUNIOR, D. G.; ALMEIDA, F. F. D. de. Condições microclimáticas, fenologia e morfologia externa de cafeeiros em sistemas arborizados e a pleno sol. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 3, p. 379-388, jul.-set., 2013.

RONQUIM, J. C. **Assimilação de carbono e fluorescência da clorofila do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sob condições contrastantes de irradiância, temperatura e disponibilidade de Co₂**. 2007, 76 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION - SCAA. **Specialty Coffee Facts and Figures**. 2015. Disponível em: <<https://sca.coffee/research/specialty-coffee-facts-figures/>>. Acesso em: 15 jun. 2018.

SILVA NETO, F. J. da; MORINIGO, K. P. G.; GUIMARÃES, N. de F.; GALLO; A. de S.; SOUZA, M. D. B. de; STOLF, R.; FONTANETTI, A. Shade trees spatial distribution and its effects on grains and beverage quality of shaded coffee trees. **Journal of Food Quality**, v. 2018, 8p., 2018.

SILVA, R. G. da. Predição da configuração de sombra de árvores em pastagens para bovinos. **Engenharia Agrícola**, v.26, n.1, p.268-281, jan.-abr. 2006

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Plant physiology**, 6. ed. Massachusetts: Sinauer Associates, 858 p. 2017.

VAAST, P.; BERTRAND, B. PERRIOT, J. J.; GUYOT, B.; GÉNARD, M. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, p. 197-204, 2006.

VALENTINI, L. S. de P.; CAMARGO, M; B; P; de; ROLIM, G. de S.; SOUZA, P. S.; GALLO, P. B. Temperatura do ar em sistemas de produção de café arábica em monocultivo e arborizado com seringueira e coqueiro-anão na região de Mococa, SP. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n.4, p. 1005-1010, 2010.

CAPÍTULO 2. Características Agronômicas e Produtividade de Cafeeiros em Função da Distribuição Espacial de Árvores

2.1 Resumo

As eminentes mudanças climáticas e o aumento na demanda por cafés especiais, têm estimulado à incorporação de árvores nas lavouras cafeeiras brasileiras. Os diferentes desenhos dos agroecossistemas, arranjos e espécies arbóreas utilizadas, alteram os níveis de sombreamento e de competição interespecífica, modificando as respostas produtivas do cafeeiro. Assim, objetivou-se avaliar os efeitos da espécie arbórea e de sua distribuição espacial nas características agronômicas e produtividade do cafeeiro arábica 'IAC Obatã' durante um ciclo produtivo. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com três repetições em esquema de parcelas sub-subdivididas. As parcelas foram as espécies arbóreas (*Anadenanthera falcata*, *Cassia grandis* e *Peltophorum dubium*), as subparcelas cinco distâncias em relação aos troncos das árvores (cafeeiros localizados na linha de plantio das árvores, a um metro e cinco metros (D1L e D5L); cafeeiros localizados na entrelinha de plantio das árvores, paralelos a D1L e D5L (D1E e D5E); e PS, cafeeiros localizados a 77 metros do tronco das árvores, incidindo em um talhão a pleno sol e, as sub-subparcelas corresponderam as faces de exposição dos cafeeiros, norte e sul. Foram avaliados a altura de planta, diâmetro da copa e do ramo ortotrópico, comprimento de ramo

plagiotrópico, número e distância entre rosetas do cafeeiro bem como a produtividade de frutos e de grãos beneficiados. Cafeeiros sob *P. dubium* apresentaram maior altura e diâmetro de copa. O diâmetro do ramo ortotrópico aumentou com o distanciamento do tronco de *A. falcata*. A distância entre as rosetas, foi menor em PS e maior em D1L. As espécies arbóreas não afetaram a massa e o volume de frutos por planta de cafeeiro ou a produtividade. Entretanto, em D1L e D5L a produção de frutos foi inferior que em PS. A face de exposição solar norte apresentou ramos menores, maior produção de frutos boia e menor de frutos cereja. *P. dubium* apresentou menor potencial de competição com o cafeeiro.

Palavras-chave: Arborização de Cafezais; *Coffea arabica* L.; Produção de Frutos; Sistemas Agroflorestais.

2.2 Introdução

O *Coffea arabica* L. é a espécie mais cultivada no Brasil 1,75 milhões de hectares (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, CONAB, 2019). Provavelmente, devido às características sensoriais e sabor superior, dessa espécie quando comparada com o *Coffea canephora* (DaMATTA, 2004).

O cafeeiro apresenta reduzida capacidade fotossintética quando cultivado a pleno sol (RONQUIM, 2007), as altas incidências luminosas podem causar danos aos fotossistemas (CAMPA et al., 2017), principalmente se associadas à elevadas temperaturas (ALVARENGA et al., 2004; CAMARGO, 2010).

A inserção de árvores nas lavouras cafeeiras, além de propiciar ambiente mais adequado para o cultivo, em função do sombreamento (BEER et al., 1998; RICCI et al., 2013) e contribuir para a melhoria da qualidade da bebida (MUSCHLER, 2001; VAAST et al., 2006). Também protegem o cafeeiro de fortes chuvas, ventos e granizos (ALVARENGA et al., 2004) e melhoram a ciclagem de nutrientes e o incremento da matéria orgânica do solo (CAMPANHA et al., 2007). As árvores podem atuar, ainda como refúgio e fonte de alimento para fauna local, auxiliando na conservação da biodiversidade em escala regional (PERFECTO et al., 1996) e contribuir para a biodiversidade funcional, controlando a incidência de pragas e doenças do cafeeiro (BEER et al., 1998).

Mesmo com o conhecimento desses benefícios, a maioria dos cafeicultores brasileiros, temendo reduções no volume de produção, ainda resistem a incorporação

de árvores nos sistemas (VALENTINI et al., 2010). Entretanto, a possibilidade da inserção do café produzido em nichos especiais de mercado (GUIMARÃES et al., 2019), as eminentes mudanças climáticas (ASSAD et al., 2004) e a preocupação com a sustentabilidade ambiental (PRADO; COLLAZO; IRWIN, 2018) têm revertido esse cenário.

O arranjo de plantas e as espécies arbóreas utilizados em consórcio com os cafeeiros podem resultar em diferentes níveis de sombreamento e competição interespecífica. Em condições de sombreamento intenso o cafeeiro tem mais estímulo para o crescimento vegetativo, resultando em menor emissão de gemas florais (DaMATTA et al., 2007), o que pode resultar em perdas de produtividade (MUSCHLER, 2001; PEZZOPANE et al., 2007; VAAST et al., 2006). Entretanto, Ricci et al (2011) observaram aumento no número de ramos produtivos no terço inferior da copa dos cafeeiros consorciados com bananeiras e *Erythrina verna*, o que permitiu que mesmo com a redução no número de rosetas produtivas, a produtividade se mantivesse semelhante entre os sistemas sombreados e a pleno sol.

Sistemas arborizados, definidos como aqueles que apresentam até 35% de sombreamento (ALVARENGA et al., 2004; RICCI et al., 2013), proporcionam condições ambientais ideais para o desenvolvimento do cafeeiro. Melhorando as condições morfológicas internas, como a espessura do parênquima paliádico, e externas do cafeeiro, principalmente a densidade e tamanho dos estômatos, aumentando a eficiência fotossintética (BALIZA et al., 2012).

A baixa ocupação do solo pelo componente arbóreo e a distribuição espacial das árvores altera os fatores de produção do cafeeiro como a luz, a água e os nutrientes dentro do talhão e conseqüentemente a intensidade da competição interespecífica.

Os efeitos da falta de homogeneidade, dentro do cafezal arborizado foram relatados para o desenvolvimento fenológico (PEZZOPANE et al., 2007; RICCI et al., 2012; SILVA NETO et al., 2018), produtividade (FERREIRA, 2017; PEZZOPANE et al., 2007), qualidade da bebida (SILVA NETO et al., 2018; VAAST et al., 2006) e radiação incidente (PEZZOPANE et al., 2011). Além disso, a espécie das árvores de sombreamento altera o comportamento, características agrônômicas e, ou produtivas do cafeeiro. Segundo Coelho et al. (2010), cafeeiros sombreados por vinhático (*Plathymeria* spp.) eram mais altos e com maior diâmetro do caule que os sombreados por ingazeiro (*Inga edules*) e abacateiro (*Persea americana*) ou a pleno

sol. Já Ricci et al. (2013) relatam maior área foliar e distância entre rosetas para cafeeiros consorciados com gliricídia (*Gliricidia sepium*) que com eritrina (*Erythrina poeppigiana*).

Objetivou-se com esse trabalho avaliar os efeitos da espécie arbórea e de sua distribuição espacial nas características agronômicas e produtividade do cafeeiro arábica 'IAC Obatã' durante um ciclo produtivo. Partindo-se da hipótese que a distribuição espacial das árvores, bem como a espécie, influencia diferentemente as características agronômicas e a produtividade do cafeeiro dentro do sistema.

2.3 Materiais e Métodos

2.3.1 Caracterização da Área Experimental

O ensaio foi conduzido na safra 2017/18, entre os meses de junho de 2017 e julho de 2018, na Fazenda Retiro Santo Antônio, localizada no município de Santo Antônio do Jardim (22°08'42"S de latitude e 46°41'50"W de longitude) no estado de São Paulo, com altitude média de 894m (ALMEIDA, 2016). O clima da região é considerado, segundo a classificação de Köppen (1948), como subtropical úmido de inverno seco e verões temperados.

As temperaturas máximas, mínimas e médias mensais registradas no período da condução do experimento, bem como a precipitação pluviométrica acumulada, no município de Espírito Santo do Pinhal estão sumarizados na figura 1.1(capítulo 1), e o balanço hídrico na figura 1.2 (capítulo 1).

Para a instalação do experimento foram utilizadas duas áreas adjacentes, um talhão formado em 2010 com cafeeiros da variedade IAC Obatã, no espaçamento de 1,0 x 3,5m, plantados em linhas no sentido Leste-Oeste, arborizado com espécies nativas, no espaçamento de 15,0 x 14,0m, solo Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico (OLIVEIRA, 2018). E um talhão vizinho com cafeeiros de mesma variedade, ano de implantação e orientação de plantio, porém, em sistema a pleno sol (figura 1.3A, capítulo 1), solo Argissolo Vermelho-Amarelo (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, 2006).

Os talhões estão localizados na altitude média entre 878 e 894 metros, declividade entre 3 e 5°, voltado para o nordeste (ALMEIDA, 2016). O talhão arborizado possui cinco espécies de árvores, porém somente três foram selecionadas para o ensaio: angico-do-cerrado (*Anadenanthera falcata* (Benth.) Speg.), canafístula (*Peltophorum dubium* (Speg.) Taub.) e cássia rosa (*Cassia grandis* L. f.). O quadro

1.1 (capítulo 1) descreve as principais características das árvores no ensaio e as imagens das árvores e sua localização no talhão estão no apêndice, figuras 1 a 4.

A adubação dos cafeeiros seguiu a recomendação do Boletim 100 (RECOMENDAÇÕES, 1997) em conformidade com os resultados das análises químicas dos solos. Foram realizadas quatro aplicações com ureia protegida, na dose de 50g por planta, duas aplicações de cloreto de potássio, 10g por planta, uma aplicação de composto orgânico a base de cama de frango, esterco bovino e palha de café, 1kg por planta.

O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados com três repetições, em esquema de parcela sub-subdividida. As parcelas foram formadas por três tratamentos, correspondendo as espécies arbóreas: T1 – cafeeiros sombreados por *A. falcata*; T2 – cafeeiros sombreados por *P. dubium*; e T3 – cafeeiros sombreados por *C. grandis*. A subparcela correspondeu às cinco distâncias em relação aos troncos das árvores avaliadas: dois subtratamentos foram instalados na linha de plantio das árvores, a um (D1L) e cinco metros (D5L) de distância do tronco das árvores; paralelamente a esses pontos, na entrelinha de plantio das árvores, dois outros subtratamentos foram instalados (D1E e D5E); por fim, o último subtratamento (PS) foi alocado a 77 metros de distância da linha de plantio das árvores, de tal forma que incidissem no sistema a pleno sol (figura 1.3B, capítulo 1). As sub-subparcelas corresponderam as faces de exposição solar dos cafeeiros, norte e sul. A unidade experimental foi formada por seis cafeeiros, três plantas vizinhas de cada lado da árvore, porém, nos subtratamentos D1E e PS foram utilizados seis cafeeiros consecutivos, como mostra a figura 1.3B (capítulo 1).

Para as variáveis altura de planta, diâmetro de copa e do ramo ortotrópico do cafeeiro, o delineamento experimental foi de parcela subdivididas, pois a análise dessas variáveis não permitia a subdivisão em faces de exposição solar dos cafeeiros.

2.3.2 Avaliação das Características Agronômicas do Cafeeiro

Antecedendo a colheita entre os dias 2 e 6 de julho de 2018, foram avaliadas as características agronômicas dos cafeeiros.

A altura de planta foi obtida com o auxílio de uma régua graduada, alocada paralelamente ao ramo ortotrópico, medindo-se desde a superfície do solo até a gema apical (PEZZOPANE et al., 2007). O diâmetro da copa foi medido com uma trena de madeira, posicionada transversalmente ao ramo ortotrópico, paralelamente a linha de

cafeeiros, medindo-se a maior distância entre o primeiro par de folhas de ramos plagiotrópicos opostos (PEZZOPANE et al., 2007). Para o diâmetro do ramo ortotrópico, mediu-se o ramo ortotrópico principal na altura do terço médio com um paquímetro digital (COELHO et al., 2010).

O número de rosetas e a distância entre as mesmas foram medidas com um paquímetro digital em três ramos plagiotrópicos localizados no terço médio de cada planta orientados para as faces de exposição norte e, outros três para o sul (RICCI et al., 2013). O comprimento do ramo plagiotrópico foi medido com trena em três ramos por face de exposição solar, sendo medida a distância entre o último par de folhas expandida e a inserção no ramo ortotrópico principal.

2.3.3 Colheita, Beneficiamento e Produtividade do Cafeeiro:

A colheita foi realizada quando 50% dos frutos de todo o talhão avaliado encontravam-se no estágio cereja, entre os dias 7 e 9 de julho de 2018. Os frutos foram colhidos por derriça manual sob peneiras (Figura 2.1 a. e b.). Posteriormente, os frutos foram separados em cereja, e boia, uma vez que não haviam frutos verdes em quantidades significativas, no lavador separador comercial (Lavador Separador de Café LBASE, Pinhalense). Os frutos foram pesados e tiveram o volume medido em proveta graduada de 2.000 ml, para que se pudesse expressar a produção de frutos por face de exposição solar e por planta em quilograma e em litros. A produção de frutos foi expressa para frutos boia, cereja e total (boia + cereja) por planta, valendo-se da expressão 2.1 (adaptado de MORINIGO, 2016).

$$PF = PF_F \times 2$$

Expressão 2.1

Onde:

PF: Produção de frutos por planta; e

PF_F: Produção de Frutos por Face de Exposição Solar.

Em seguida, os frutos foram alocados em sacos Raschel e encaminhados para secagem em terreiro de cimento (Figura 2.1 c.) até atingirem a umidade de 13%, ou seja, café coco. Durante a secagem os sacos foram revolvidos em intervalos de 1 hora, durante o período compreendido entre 9:00 e 15:00h, posteriormente, eram amontoados e cobertos com lona durante a noite. O período de secagem se estendeu entre 10 e 30 de julho de 2018.

Quando secos, os grãos foram descascados em descascador de amostra (Carmomaq – Tecnologia e Inovação para a Indústria de Café - Tipo: DRC 1, N°: 9498) e pesados em balança semi-analítica. No momento da pesagem, os grãos tiveram a umidade determinada no medidor de umidade de bancada (Analisador de umidade e impurezas G650 – Gehaka Agri). A massa de grãos foi corrigida para 11% de umidade.

Figura 2.1 – Colheita por derriça manual sob peneira (a. e b.) e Secagem em terreiro de cimento de frutos de cafeeiro em sacos Raschel, após separação em cereja e boia (c.). Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.



Fonte: Autoria própria

A produtividade foi expressa em quilogramas por planta (expressão 2.2), em quilogramas por hectare (expressão 2.3) e sacas de 60Kg por hectare (expressão 2.4) de grãos provenientes de frutos cereja, boia e total (cereja +boia) (adaptado de PEZZOPANE et al., 2007).

$$PG_P = PG_F \times 2$$

Expressão 2.2

Onde:

PG_P : Produção de Grãos em quilogramas por planta; e

PG_F : Produção de grãos por face de exposição solar.

$$PG_{ha} = PG_P \times \frac{10.000}{[(1,0 \times 3,5) \div 2]}$$

Expressão 2.3

Onde:

PG_{ha} : Produção de grãos em quilogramas por hectare; e

PG_P : Produção de grãos em quilogramas por planta.

$$PG60 = \frac{PG_{ha}}{60}$$

Expressão 2.4

Onde:

PG60: Produção de grãos em sacas de 60 kg por hectare; e

PG_{ha}: Produção de grãos em quilogramas por hectare.

2.3.4 Forma de Análise dos Resultados

Para a interpretação, os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância, por meio do software R Studio.

2.4 Resultados e Discussão

2.4.1 Características Agronômicas do Cafeeiro

A espécie arbórea *P. dubium* proporcionou a maior altura do cafeeiro (tabela 2.1). Em relação a distribuição espacial, os cafeeiros localizados na entrelinha das árvores no ponto D5E apresentaram altura superior que os cafeeiros da linha de plantio das árvores, distantes 1 m do tronco (D1L) (tabela 2.1).

Ferreira (2017), assim como neste trabalho, também encontrou que os cafeeiros localizados nas entrelinhas distantes 4,2 m da espécie de sombreamento, macaúba (*Acrocomia aculeata*) eram mais altos que os cafeeiros localizados a 1,4 m da macaúba e também que dos cafeeiros cultivados a pleno sol. Segundo o autor, a maior altura do cafeeiro no sistema sombreado, deveu-se a melhoria das condições microclimáticas no talhão, notoriamente a redução na *PAR* nos horários mais quentes do dia. O autor também ressalta que na localidade mais distante das árvores no sistema agroflorestal não houve competição direta com a macaúba, principalmente por água.

As características ecofisiológicas e morfológicas das espécies arbóreas, como o comportamento decíduo e, ou o formato da copa podem interferir na intensidade de radiação incidente sobre o cafeeiro. Além disso, a variação na densidade da sombra ao longo do ano estimula alterações nas características agronômicas do cafeeiro (RICCI et al., 2013). Fatos que explicam a maior altura de cafeeiros sombreados por *P. dubium*, que apresenta comportamento decíduo muito acentuado em comparação as demais espécies (tabela 1.1).

Por outro lado, Coelho et al. (2010) atribuem a maior altura de cafeeiros em sistemas agroflorestais à competição por luz, como um resultado do estiolamento das plantas. No entanto, no presente trabalho, em função do desenho do sistema, os cafeeiros em D1L foram os mais sombreados (tabela 1.2, figuras 1.5 e 1.7, capítulo 1) e os que apresentaram a menor altura quando comparados com os localizados em D5E, menor sombreamento (tabela 2.1). A menor altura do cafeeiro em D1L, pode indicar menor vigor da planta, provocado pela competição por água entre o cafeeiro e a árvore de sombreamento, como relatado por Morinigo (2017).

O diâmetro da copa de cafeeiros sombreados por *P. dubium* também foram superiores aos sombreados por *A. falcata* (tabela 2.1), corroborando com o observado para a altura do cafeeiro.

Tabela 2.1 – Altura de planta (H) e diâmetro de copa (DC) de cafeeiro ‘IAC Obatã’ em função da espécie arbórea de sombreamento e de sua distribuição espacial no cafezal. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.

	H ---- m ----	DC ---- m ----
Espécie Arbórea		
<i>A. falcata</i>	1,55 b	1,72 b
<i>C. grandis</i>	1,54 b	1,76 ab
<i>P. dubium</i>	1,78 a	1,96 a
CV (%)	7,2	8,5
Distribuição Espacial		
D1L	1,54 b	1,77 ab
D5L	1,56 ab	1,80 ab
D1E	1,56 ab	1,67 b
D5E	1,76 a	1,91 a
PS	1,70 ab	1,92 a
CV (%)	9,2	9,0

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey em nível de 5 % de significância. Cafeeiros localizados na linha de plantio das árvores, a um metro (D1L) e cinco metros de distância do tronco das árvores (D5L); cafeeiros localizados na entrelinha de plantio das árvores, paralelos a D1L e D5L (D1E e D5E); e PS, cafeeiros localizados a 77 metros do tronco das árvores, incidindo em um talhão a pleno sol.

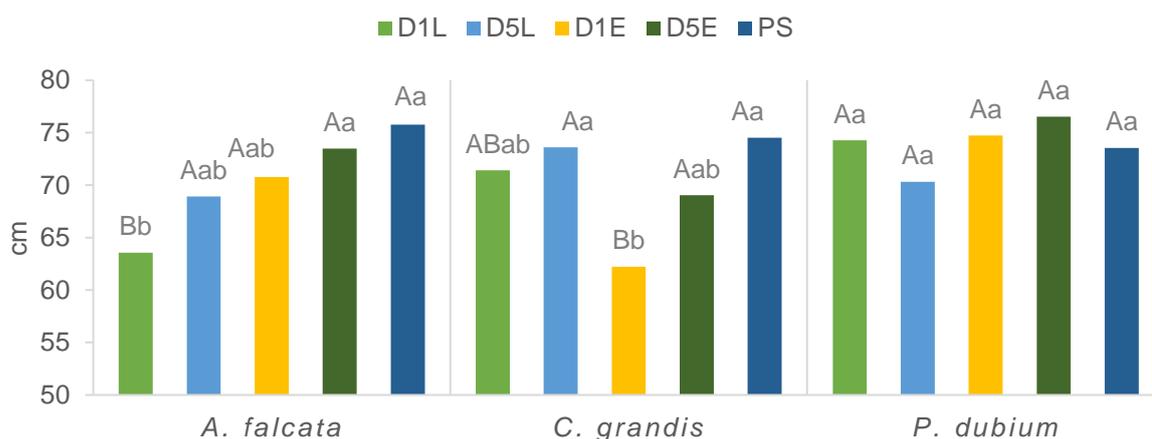
Segundo Andrade, Salman e Oliveira (2012), o formato caliciforme da copa é mais eficiente na passagem de luz para os estratos inferiores que a copa elíptica horizontal. Assim, *P. dubium*, que possui copa caliciforme foi mais eficiente que *A. falcata*, copa elíptica horizontal, na passagem de luz possibilitando que os cafeeiros

sombreados por essa espécie apresentassem maior vigor vegetativo (altura e diâmetro de copa), como observado (tabela 2.1).

O diâmetro da copa de cafeeiros em D1E foi menor que os em D5E e PS (tabela 2.1). Resultado semelhante foi encontrado por Ferreira (2017), que relatou maior diâmetro de copa de cafeeiros sombreados, porém, mais distantes do tronco da macaúba, a 4,2 m, que os mais próximos, a 1,4 m do tronco das árvores. Entretanto, o autor relatou que os cafeeiros a pleno sol apresentavam copa menor que os sombreados.

Tatagiba et al. (2010) destaca que o crescimento em diâmetro do ramo ortotrópico depende da atividade cambial, estimulada pela produção de carboidratos, sendo um bom indicador da assimilação líquida de fotoassimilados. Ou seja, a redução no diâmetro pode indicar maior competição pelos fatores de produção, luz, água e nutrientes. Assim, o maior diâmetro do ramo ortotrópico em D1L de *P. dubium* quando comparado com *A. falcata* (figura 2.2) reforça a ideia de que a altura dos cafeeiros não resulta de estiolamento, mas sim do maior vigor das plantas.

Figura 2.2 – Diâmetro do ramo ortotrópico do cafeeiro ‘IAC Obatã’ em função da espécie arbórea de sombreamento, de sua distribuição espacial no cafezal e das faces de exposição solar do cafeeiro. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.



Médias seguidas de letras iguais, minúsculas para a distribuição espacial das árvores e maiúsculas para as espécies de sombreamento, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey à 5% de significância. Cafeeiros localizados na linha de plantio das árvores, a um metro (D1L) e a cinco metros (D5L) do tronco das árvores; cafeeiros localizados na entrelinha de plantio das árvores, paralelos a D1L e D5L (D1E e D5E); e PS, cafeeiros localizados a 77 metros de distância do tronco das árvores.

O menor diâmetro do ramo ortotrópico dos cafeeiros localizados em D1L para a espécie *A. falcata*, contrariam o observado por Pezzopane et al. (2007), que

encontraram taxas maiores de crescimento, em diâmetro, do ramo ortotrópico em cafeeiros sombreados que os a pleno sol. Sendo os cafeeiros localizados na linha de plantio da bananeira, imediatamente abaixo da copa, o que apresentou maiores taxas. Contrariamente, Ferreira (2017) relata maior diâmetro do ramo ortotrópico nos cafeeiros cultivados a pleno sol que os sombreados.

Para o comprimento de ramos plagiotrópicos (CR) houve efeito isolado das espécies arbóreas e das faces de exposição solar (tabela 2.2). Já para o número de rosetas por ramo plagiotrópico (R) e distância entre rosetas (DR) houve efeito isolado da distribuição espacial (tabela 2.2).

Tabela 2.2 – Comprimento de ramo plagiotrópico (CR), número de rosetas por ramo plagiotrópico (R) e distância entre rosetas (DR) de cafeeiro ‘IAC Obatã’ em função da espécie arbórea de sombreamento, de sua distribuição espacial no cafezal e das faces de exposição solar do cafeeiro. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.

	CR ---- cm ----	R -----	DR ---- mm ----
Espécie Arbórea			
<i>A. falcata</i>	51,79 b	7,10 a	32,38 a
<i>C. grandis</i>	53,11 ab	7,13 a	32,53 a
<i>P. dubium</i>	59,52 a	7,55 a	30,45 a
CV (%)	14,9	28,3	6,5
Distribuição Espacial			
D1L	51,80 a	7,28 ab	34,71 a
D5L	55,01 a	6,23 b	31,64 b
D1E	56,57 a	7,81 ab	33,26 ab
D5E	57,41 a	6,91 ab	32,39 b
PS	53,25 a	8,06 a	26,93 c
CV (%)	16,8	22,0	5,0
Face de Exposição Solar			
Face Norte	51,30 b	7,14 a	32,30 a
Face Sul	58,32 a	7,37 a	31,27 a
CV (%)	14,3	15,6	3,6

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey em nível de 5 % de significância. Cafeeiros localizados na linha de plantio das árvores, a um metro (D1L) e cinco metros de distância do tronco das árvores (D5L); cafeeiros localizados na entrelinha de plantio das árvores, paralelos a D1L e D5L (D1E e D5E); e PS, cafeeiros localizados a 77 metros do tronco das árvores, incidindo em um talhão a pleno sol.

A distribuição espacial das árvores no cafezal não alterou o comprimento de ramos plagiotrópicos (tabela 2.2). Resultado semelhante foi relatado por Silva Neto et al. (2018). Porém, a face de exposição solar influenciou o comprimento de ramos plagiotrópicos, a face sul apresentou ramos mais longos que a face norte (tabela 2.2). A face sul, nesse experimento, é menos iluminada que a norte (figuras 1.6 e 1.7,

capítulo 1). O alongamento dos ramos representa um esforço mecânico da planta em buscar melhor qualidade e intensidade de luz (DaMatta, 2004). Esse mesmo princípio pode explicar o menor comprimento dos ramos plagiotrópicos nos cafeeiros sombreados por *A. falcata* (tabela 2.2).

O aumento do sombreamento contribuiu para o acréscimo na distância entre as rosetas do cafeeiro, PS apresentou maior número de rosetas que o D5L (tabela 2.2). Resultados também observados por Ricci et al. (2006), Ricci et al. (2012) e Ricci et al. (2013). O sombreamento também reduziu o número de rosetas (tabela 2.2), corroborando com Ricci et al. (2012). O menor número de rosetas deve-se aos menores valores de radiação fotossinteticamente ativa incidente sobre os cafeeiros (RICCI et al., 2006).

Baseado nos resultados das características agronômicas do cafeeiro é possível fazer algumas inferências em relação às espécies arbóreas, a *P. dubium* apresenta-se como a espécie menos competitiva quando em consórcio com o cafeeiro, pois, não influenciou o diâmetro do ramo ortotrópico e proporcionou a maior altura e diâmetro de copa do cafeeiro. Ao contrário, *A. falcata* aparenta ser a espécie mais competitiva, pois reduziu a altura, o diâmetro da copa e do ramo ortotrópico do cafeeiro. Assim, entende-se que seria necessária redução da densidade de plantio de *A. falcata* ou manejo da copa por meio de poda, a fim de se reduzir as competições entre a espécie e o cafeeiro.

Em relação à distribuição espacial a maior distância do tronco das árvores permitiu o maior número de rosetas e a redução da distância entre as mesmas, indiferentemente da espécie de sombreamento utilizada, alterações que podem interferir na produtividade e qualidade dos grãos. Dessa forma, para se reduzir a heterogeneidade das características agronômicas dos cafeeiros recomenda-se que as espécies de sombreamento fossem adensadas e manejadas com poda, para que os níveis de competição fossem reduzidos.

2.4.2 Produção de Frutos e Grãos de Café

As produções de frutos cereja, boia e total (somatório dos frutos cereja e boia) tanto em volume (expressa em L) quanto em massa (em Kg) por planta de cafeeiro não foram influenciadas pelas espécies arbóreas. Também a face de exposição solar não afetou a produção total de frutos em Kg por planta de cafeeiro (tabela 2.3). No

entanto, para as produções por planta de frutos cereja, boia (Kg e L) e volume total houve efeito isolado da distribuição espacial e da face de exposição solar (tabela 2.3).

A redução da produtividade em cafeeiros mais próximos das árvores também foi relatada por Ferreira (2017), que encontrou maior produtividade de frutos em cafeeiros plantados mais distantes das árvores de sombreamento, a 4,2 m. Por outro lado, o mesmo autor obteve produtividade de frutos superior no sistema agroflorestal que em cafeeiros a pleno sol. Segundo o autor, isso se deve a menor perda de biomassa (folhas) do cafeeiro nos meses de autopoda, além da proteção proporcionada pelas árvores dos excessos de radiação solar.

Tabela 2.3 – Produção por planta de cafeeiros ‘IAC Obatã’ de frutos cereja, boia e total (cereja + boia) em função das espécies arbóreas e da distribuição espacial no cafezal. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.

	Cereja		Boia		Total	
	L planta ⁻¹	Kg planta ⁻¹	L planta ⁻¹	Kg planta ⁻¹	L planta ⁻¹	Kg planta ⁻¹
Espécies arbóreas						
<i>A. falcata</i>	0,892	0,596	1,386	0,626	2,278	1,222
<i>C. grandis</i>	0,850	0,552	1,642	0,762	2,492	1,314
<i>P. dubium</i>	1,448	0,952	2,346	1,052	3,794	2,004
CV (%)	27,1	26,9	85,2	75,4	10,1	12,4
Distribuição espacial						
D1L	0,796 b	0,506bc	1,646 b	0,748 b	2,444 b	1,254 bc
D5L	0,664 b	0,448 c	1,444 b	0,654 b	2,108 c	1,104 c
D1E	0,978 b	0,668 b	1,516 b	0,686 b	2,492 b	1,354 b
D5E	0,932 b	0,614bc	1,624 b	0,736 b	2,556 b	1,35 b
PS	1,946 a	1,262 a	2,73 a	1,244 a	4,676 a	2,506 a
CV (%)	30,7	29,6	57,9	58,4	11,4	13,7
Face de exposição solar						
Face Norte	0,904 b	0,602 b	2,128 a	0,95 a	3,03 a	1,552
Face Sul	1,224 a	0,798 a	1,456 b	0,678 b	2,68 b	1,474
CV (%)	46,0	15,5	30,3	29,7	5,9	21,9

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey em nível de 5 % de significância. Cafeeiros localizados na linha de plantio das árvores, a um metro (D1L) e cinco metros de distância do tronco das árvores (D5L); cafeeiros localizados na entrelinha de plantio das árvores, paralelos a D1L e D5L (D1E e D5E); e PS, cafeeiros localizados a 77 metros do tronco das árvores, incidindo em um talhão a pleno sol.

Na face norte, que recebe mais radiação, a maturação dos frutos foi acelerada, resultando em produção superior de frutos boia, em relação a face sul, mais sombreada, que apresentava mais frutos no estágio cereja, no momento da colheita (tabela 2.3). Resultados semelhantes foram relatados por Dias et al. (2009) que avaliaram a influência da face de exposição solar na fenologia e velocidade de

maturação de cafeeiros 'Rubi IAC 192' plantados no sentido leste-oeste, em Muzambinho, MG. Também, Camargo et al. (2007), que avaliaram a velocidade de maturação em função da distância de cafeeiros 'Obatã' de seringueiras (*Hevea brasiliensis*). Estes últimos explicaram que o atraso na maturação, deveu-se à proteção térmica resultante da menor exposição solar.

O fato de não ter ocorrido diferença entre as faces para a massa de frutos (kg), mas para o volume de frutos (L) (tabela 2.3), deve-se ao processo de degradação dos frutos após a maturação. Nessa fase, ocorre perda de água, tanto dos frutos (PEZZOPANE et al., 2003) quanto dos grãos (DaMATTA et al., 2007), mas há manutenção do volume.

A espécie arbórea também não afetou a produção por planta (kg) e a produtividade (kg ha⁻¹ e sacas ha⁻¹) de grãos provenientes de frutos no estágio cereja e total (somatório de cereja e boia) (tabela 2.4). Porém, para a produção por planta (kg) e produtividade (kg ha⁻¹ e sacas ha⁻¹) de grãos no estágio boia houve efeito das interações entre espécies arbóreas x face de exposição solar e da distribuição espacial x face de exposição solar (tabela 2.4).

Diferenças de produtividade de grãos de café entre as faces de exposição solar foram relatados por Custódio et al. (2015) e Chaves et al. (2012). Chaves et al. (2012) atribuem o aumento da produtividade de grãos na face norte a maior disponibilidade de PAR (radiação fotossinteticamente ativa). Entretanto, neste experimento, as faces de exposição solar apenas alteraram a produtividade de grãos advindos de frutos boia no pleno sol (figura 2.3).

As altas intensidades luminosas na face norte em PS estimulam o aumento da temperatura (CAMARGO, 2010), que por sua vez, aceleram a maturação dos frutos (MUSCHLER, 2001; RICCI et al., 2012), resultando em maior produtividade de grãos advindos de frutos boia.

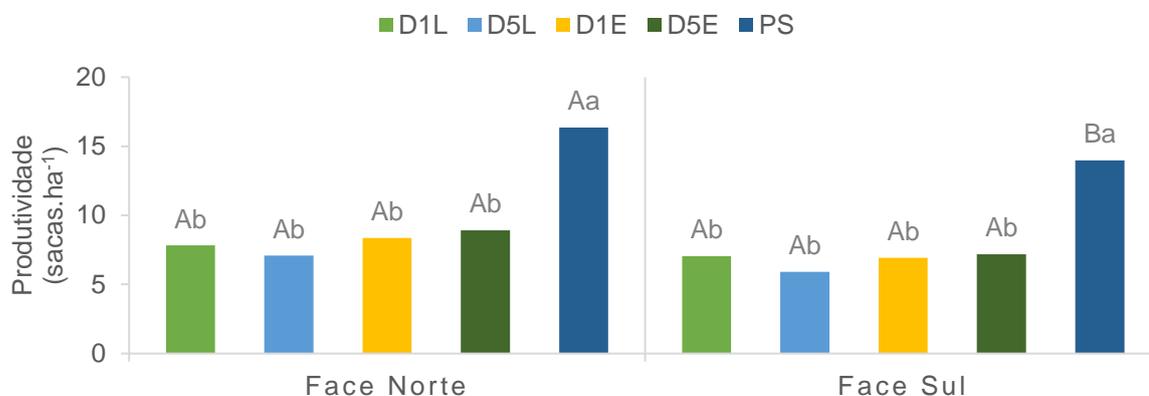
A menor produtividade de grãos advindos de frutos boias nas distâncias próximas às árvores (figura 2.4) pode ser resultado da competição entre os cafeeiros e as árvores, como relatado por diversos autores (CAMARGO et al., 2007; COELHO et al., 2010, MUSCHLER, 2001; VAAST et al., 2006). Além disso, DaMatta (2004) também destaca que o sombreamento desestimula o crescimento reprodutivo dos cafeeiros. Resultado, observado pela redução do número de rosetas por ramos (tabela 2.2).

Tabela 2.4 – Produção por planta e produtividade por hectare (em kg e sacas de 60Kg) de grãos nos estádios cereja, boia e total (cereja + boia) de cafeeiros ‘IAC Obatã’ em função das espécies arbóreas, distribuição espacial e face de exposição solar no cafezal. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.

	Cereja			Boia			Total		
	Kg planta ⁻¹	Kg ha ⁻¹	Sacas ha ⁻¹	Kg planta ⁻¹	Kg ha ⁻¹	Sacas ha ⁻¹	Kg planta ⁻¹	Kg ha ⁻¹	Sacas ha ⁻¹
Espécies arbóreas									
<i>A. falcata</i>	0,104	296,38	4,94	0,178	510,56	8,50	0,282	806,42	13,44
<i>C. grandis</i>	0,098	277,46	4,62	0,224	641,38	10,68	0,322	918,84	15,32
<i>P. dubium</i>	0,176	500,42	8,34	0,342	975,14	16,26	0,516	1475,56	24,60
CV (%)	74,0	74,0	74,0	79,4	79,4	79,4	76,9	76,9	76,9
Distribuição espacial									
D1L	0,088 b	254,88 b	4,24 b	0,224 b	637,62 b	10,62 b	0,312 b	892,5 b	14,88 b
D5L	0,078 b	222,9 b	3,72 b	0,196 b	558,42 b	9,3 b	0,274 b	780,46 b	13,00 b
D1E	0,118 b	338,32 b	5,64 b	0,202 b	579,46 b	9,66 b	0,322 b	917,78 b	15,3 b
D5E	0,108 b	308,76 b	5,14 b	0,216 b	615,9 b	10,26 b	0,324 b	924,66 b	15,4 b
PS	0,232 a	665,6 a	11,1 a	0,404 a	1153,72 a	19,22 a	0,636 a	1819,32 a	30,32 a
CV (%)	81,0	81,0	81,0	59,7	59,7	59,7	59,0	59,0	59,0
Face de exposição									
Face Norte	0,108 b	306,88 b	5,12 b	0,294 a	842,16 a	14,04 a	0,402 a	1148,68 a	19,14 a
Face Sul	0,144 a	409,3 a	6,82 a	0,202 b	575,9 b	9,60 b	0,344 b	985,2 b	16,42 b
CV (%)	42,0	42,0	42,0	29,3	29,3	29,3	21,2	21,2	21,2

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey em nível de 5 % de significância. Cafeeiros localizados na linha de plantio das árvores, a um metro (D1L) e cinco metros (D5L); cafeeiros localizados na entrelinha de plantio das árvores, paralelos a D1L e D5L (D1E e D5E); e PS, cafeeiros localiza a 77 metros do tronco das árvores.

Figura 2.3 – Produtividade de grãos boa (sacas ha⁻¹) de cafeeiros ‘IAC Obatã’ em função da distribuição espacial das espécies arbóreas no cafezal e da face de exposição solar. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.



Médias seguidas de letras iguais, minúsculas para distribuição espacial das árvores e maiúsculas para a face de exposição solar do cafeeiro, não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey à 5% de significância. Cafeeiros localizados na linha de plantio das árvores, a um (D1L) metro e cinco metros de distância do tronco da árvore (D5L); cafeeiros localizados na entrelinha de plantio das árvores, paralelos a D1L e D5L (D1E e D5E); e PS, cafeeiros localizados a 77 metros do tronco das árvores.

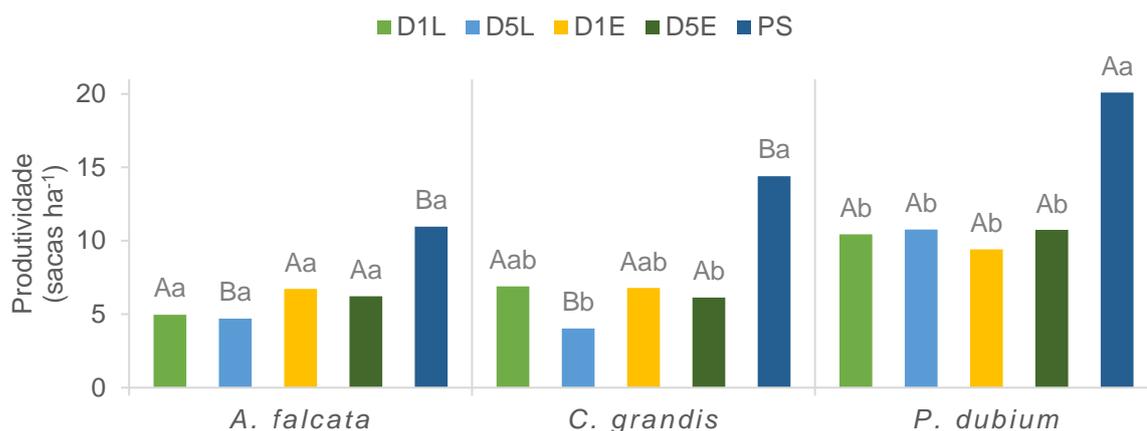
Somente os cafeeiros sombreados por *A. falcata*, em PS apresentaram produtividade de grãos boa semelhante aos demais pontos avaliados dentro do sistema agroflorestal. Para as outras espécies arbóreas, a produtividade de PS foi superior aos demais pontos (figura 2.4). Cafeeiros sombreados por *P. dubium* em D5L apresentaram maior produtividade de grãos boas que os cafeeiros nessa mesma localização, porém, sombreados pelas outras espécies arbóreas (figura 2.4).

A menor produtividade de grãos boa dos cafeeiros em D5L (figura 2.4) pode ser explicada pela competição por recursos, como apontado por Morinigo et al. (2017) e redução dos benefícios do sombreamento, principalmente nos horários mais próximos do meio dia, como aponta o incremento das taxas de *PAR* observadas no experimento (figura 1.7 e tabela 1.2, capítulo 1). Resultados também apontado por Ferreira (2017) que encontrou menor influência da espécie de sombreamento em pontos mais distantes das mesmas durante o meio dia.

A produtividade total de grãos, nesse experimento (tabela 2.4) está abaixo da média nacional para a safra de 2018, que foi de 31,7 sacas ha⁻¹ (CONAB, 2018). Segundo Silva Neto et al. (2018), a produtividade deste mesmo cafezal arborizado em Santo Antônio do Jardim na safra de 2015 foi de 39,25 sacas ha⁻¹, cerca de 53% superior à média nacional naquele momento. Estes dados apontam para o desgaste da lavoura avaliada. Ainda mais ao se considerar que os cafeeiros se encontravam,

no momento do experimento, com 10 anos produtivos. Idade com a qual os produtores da região costumam reformar as lavouras desta variedade.

Figura 2.4 – Produtividade de grãos boia (saca ha⁻¹) de cafeeiros ‘IAC Obatã’ em função da espécie arbórea e de sua distribuição espacial no cafezal. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.



Médias seguidas de letras iguais, minúsculas para as espécies de sombreamento e maiúsculas para a distribuição espacial, não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey em nível de 5% de significância. Cafeeiros localizados na linha de plantio das árvores, a um metro (D1L) e cinco metros de distância do tronco (D5L); cafeeiros localizados na entrelinha de plantio das árvores, paralelos a D1L e D5L (D1E e D5E); e PS, cafeeiros localizados a 77 metros do tronco das árvores, incidindo em um talhão a pleno sol

Não foram encontradas diferenças entre as espécies de sombreamento utilizadas quanto a produtividade total de grãos do cafeeiro (tabela 2.4). Entretanto, a *P. dubium*, destaca-se como uma espécie promissora, uma vez que está compete menos com o cafeeiro, possibilitando maior produtividade. Além disso, o sistema arborizado permitiu maturação menos acelerada na face mais ensolarada, homogeneizando o estágio fenológico dos frutos para o momento da colheita.

2.5 Conclusões

As espécies arbóreas não afetaram a massa e o volume de frutos por planta de cafeeiro nos estádios cereja, boia e total. Também não influenciaram a produtividade (kg ha⁻¹) de grãos cereja e total. Porém, as árvores modificaram as características agrônômicas do cafeeiro. Cafeeiros sob *P. dubium* apresentaram maior altura e diâmetro de copa. O diâmetro do ramo ortotrópico aumentou com o distanciamento do tronco de *A. falcata*.

A distribuição espacial das árvores no cafezal afetou a produção total de frutos por cafeeiro, que foi menor nos cafeeiros em D1L e D5L que em PS. A distribuição espacial das árvores também afetou a distância entre as rosetas, que foi menor em PS e maior em D1L.

Na face norte, a mais ensolarada, o comprimento de ramo plagiotrópico foi inferior e a produção, em volume e massa, de frutos no estágio boia foi superior a face sul, que apresentou ramos mais longos e maior produção de frutos no estágio cereja.

A espécie *P. dubium*, de copa caliciforme, se apresenta como a mais promissora dentre as avaliadas, devido ao seu menor potencial de competição com o cafeeiro. A presença das árvores diminuiu o teor de frutos boia na face de exposição solar norte, homogeneizando a colheita. Já a espécie *A. falcata*, de copa elíptica horizontal, deve ser melhor avaliada, pois pode afetar negativamente as características agrônomicas e produtivas do cafeeiro.

2.6 Literatura citada

ALMEIDA, A. C. S de. **Geotecnologias na gestão de propriedades agrícolas cafeeiras**. 2016, 45 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Agroecologia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2016.

ALVARENGA, A. de P.; VALE, R. S. do; COUTO, L.; VALE, F. A. F. do; VALE, A. B. do. Aspectos fisiológicos da cultura do café e seu potencial produtivo em sistemas agroflorestais. **Agrossilvicultura**, v. 1, n. 2, p. 195-202, 2004.

ANDRADE, C. M. S. de; SALMAN, A. K. D.; OLIVEIRA, T. K. de. **Guia arbopasto: manual de identificação e seleção de espécies arbóreas para sistemas silvipastoris**. Brasília, DF: Embrapa, 345p. 2012.

BALIZA, D. P.; CUNHA, R. L. da; CASTRO, E. M. de; BARBOSA, J. P. R. A. D.; PIRES, M. F.; GOMES, R. A. Trocas gasosas e características estruturais adaptativas de cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 3, p. 250-258, set.-dez., 2012.

BEER, J.; MUSCHLER, R.; KASS, D.; SOMARRIBA, E. Shade management in coffee and cacao plantations. **Agroforestry Systems**, v. 38, n 1-3, p. 139-164, 1998.

CAMARGO, F. T.; FAVARIN, J. L.; BERNARDES, M. S.; LUNZ, A. M. P.; RIGUI, C. A.; ALVES, S. N. R.; REIS, A. R. Crescimento e maturação do fruto do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em um sistema arborizado e monocultivo In: **V Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, 2007. Águas de Lindóia Anais..., Brasília: EMBRAPA. 2007.

CAMARGO, M. B. P. de. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. **Bragantia**, v. 69, n.1, pp. 239-247, 2010.

CAMPA, C.; URBAN, L.; MONDOLOT, L.; FABRE, D.; ROQUES, S.; LIZZI, Y.; AARROUF, J.; DOULBEAU, S.; BREITLER, J. C.; LETREZ, C.; TONIUTTI, L.; BERTRAND, B.; FISCA, P. La; BIDEL, L. P. R.; ETIENNE, H. Juvenile Coffee Leaves Acclimated to Low Light Are Unable to Cope with a Moderate Light Increase. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 2017.

CAMPANHA, M. M.; SANTOS, R. H. S.; FREITAS, G. B. de; MARTINEZ, H. E. P.; JAMILLO-BOTERO, C.; GARCIA, S. L. Análise comparativa das características da serrapilheira e do solo em cafezais (*Coffea arabica* L.) cultivados em sistema agroflorestal e em monocultura, na Zona da Mata MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 805-812, 2007.

CERDA, R.; ALLINNE C.; GARY, C.; TIXIER, P.; HARVEY, C. A.; KROLCZYK, L.; MATHIOT, C.; CLÉMENT, E.; A. J. N.; AVELINO, J. Effects of shade, altitude and management on multiple ecosystem services in coffee agroecosystems. **European Journal of Agronomy**, v. 82, pp. 308-319, 2017.

CHAVES, A. R.M.; MARTINS, S. C. V.; BATISTA, K. D. CELIN, E. F.; DaMATTA, F. M. Varying leaf-to-fruit ratios affect branch growth and dieback, with little to no effect on photosynthesis, carbohydrate or mineral pools, in different canopy positions of field-grown coffee trees. **Environmental and Experimental Botany**, v. 77, p. 207-208, 2012.

COELHO, R. A.; MATSUMOTO, S. N.; LEMOS, C. L.; SOUZA, F. A. de. Nível de sombreamento, umidade do solo e morfologia do cafeeiro em sistemas agroflorestais. **Revevista Ceres**, Viçosa, v. 57, n.1, p. 095-102, jan.-fev., 2010.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira Café**. v. 5 - Safra 2018 - n.3 - Quinto levantamento | JANEIRO 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/index.php/info-agro/safra/cafe>>. Acesso em 02 fev. 2019.

CUSTÓDIO, A. A. de P.; LEMOS, L. B.; MINGOTTE, F. L. C.; POLLO, G.Z.; FIORENTIN, C. F.; ALVES, G. S. P. Qualidade do café sob manejo de irrigação, faces de exposição solar e posições na planta. **Irriga**, v. 20, n. 1, pp. 177-192, jan.-mar., 2015.

DaMATTA, F. M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. **Field Crops Research**, v. 86, p. 99-114, 2004.

DaMATTA, F. M.; RONCHI, C. P.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 4, pp. 485-510, 2007.

DIAS, R. E.; SILVA, E. B.; SOUZA, E. S.; SILVA, F. A.; MARQUES, J. P.; FIGUEIREDO, F. C. Influência da face de exposição ao sol sobre a nutrição, fisiologia, fenologia e incidência de ferrugem e maturação de lavoura plantada no

sentido leste-oeste. In: **XXXV Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras**, 2009. Araxá: Anais..., 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

FERREIRA, R. de P. **Ecofisiologia do cafeeiro sombreado com macaúba em sistemas agroflorestais**. 2017, 56 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

GARRUTTI, R. S.; GOMES, A. G. Influência do estado de maturação sobre a qualidade da bebida do café na região do Vale do Paraíba. **Bragantia**, v. 20, n. 44, pp. 989-995. 1961.

GIOMO, G. S. Uma boa pós-colheita é segredo da qualidade. **A Lavoura**, Rio de Janeiro, v. 115, n. 688, p.12-21, fev. 2012.

GUIMARÃES, E. R.; LEME, P. H. M. V.; REZENDE, D. C. de; PEREIRA, S. P.; SANTOS, A. C. dos. The brand new Brazilian specialty coffee market. **Journal of Food Products Marketing**, v. 25, n. 1, 2019.

JARAMILLO-BOTERO, C.; MARTINEZ, H. E. P.; SANTOS, R. H. S. Características do café (*Coffea arabica* L.) sombreado no norte da América Latina e no Brasil: Análise comparativa. **Coffee Science**, v. 1, n.2, pp. 94-102, jul.-dez., 2010.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de tierra. 1 ed., México, Buenos Aires: Fondo de cultura económica. 1948.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2009. 384 p.

MORINIGO, C. P. G. **Efeito da distribuição espacial de árvores sobre atributos físicos e químicos do solo e nas características agrônômicas e produtivas de cafeeiro sombreado**. 2016, 46 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2016.

MORINIGO, K. P. G.; GUIMARÃES, N. de F.; STOLF, R.; SAIS, A. C.; SOUZA, M. D. B.; GALLO, A. de S.; FONTANETTI, A. Efeito da distribuição de árvores sobre atributos do solo em cafeeiro sombreado. **Coffee Science**, v. 12, n. 4, pp. 517-525, out.-dez., 2017.

MUSCHLER, R. G. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. **Agroforestry Systems**, v. 85, p. 131-139, 2001.

OLIVEIRA, E. S. de. **Arranjos de árvores na decomposição de serapilheira e atributos físicos do solo em cafezal**. 2018, 58 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2018

PERFECTO, I.; RICE, R. A.; GREENBERG, R.; Van der VOORT, M. E. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. **Bio Science**, v. 46, p. 598-608

PEZZOPANE, J. R. M.; MARSETTI, M. M. S.; FERRARI, W. R.; PEZZOPANE, J. E. M. Microclimatic alterations in a conilon coffee crop grown shaded by green dwarf coconut trees. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 865-871, out.-dez., 2011.

PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; GALLO, P. B.; CAMARGO, M. B. P. de; FAZUOLI, L. C. Avaliações fenológicas e agronômicas em café arábica cultivado a pleno sol e consorciado com banana 'prata anã'. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 701-709. 2007.

PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; THOMAZIELLO, R. A.; CAMARGO, M. B. P. de. Escala para avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro arábica. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n.3, p. 499-505, 2003.

PRADO, S. G.; COLLAZO, J. A.; IRWIN, R. E. Resurgence of specialized shade coffee cultivation: Effects on pollination services and quality of coffee production. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 265, p. 576-575, 2018.

RECOMENDAÇÕES de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1997. 285 p. (Boletim Técnico ; n. 100).

RICCI, M. dos S. F.; COSTA, J. R.; OLIVEIRA, N. G. de. Utilização de componentes principais para analisar o comportamento do cafeeiro a pleno sol e sombreado. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 1, pp. 44-54, jan.-abr., 2011.

RICCI, M. dos S. F.; COSTA, J. R.; PINTO, A. N.; SANTOS, V. L. da S. Cultivo orgânico de cultivares de café a pleno sol e sombreado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 4, pp. 596-575, abr., 2006.

RICCI, M. dos S. F.; COCHETO JUNIOR, D. G.; ALMEIDA, F. F. D. de. Condições microclimáticas, fenologia e morfologia externa de cafeeiros em sistemas arborizados e a pleno sol. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 3, p. 379-388, jul.-set., 2013.

RICCI, M. dos S. F.; ROWA J. R. C.; OLIVEIRA, N. G. de. RODRIGUES, M. B. Vegetative and productive aspects of organically grown coffee cultivars under shaded and unshaded systems. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 68, n. 4. pp. 424-430, jul.-ago., 2011.

RONQUIM, J. C. **Assimilação de carbono e fluorescência da clorofila do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sob condições contrastantes de irradiância, temperatura e disponibilidade de Co₂**. 2007, 76 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION - SCAA. **Specialty Coffee Facts and Figures**. 2015. Disponível em: <<https://sca.coffee/research/specialty-coffee-facts-figures/>>. Acesso em: 15 jun. 2018.

SILVA NETO, F. J. da; MORINIGO, K. P. G.; GUIMARÃES, N. de F.; GALLO, A. de S.; SOUZA, M. D. B. de; STOLF, R.; FONTANETTI, A. Shade trees spatial distribution and its effects on grains and beverage quality of shaded coffee trees. **Journal of Food Quality**, v. 2018, 8p., 2018.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M; DOS REIS, E. F. Crescimento vegetativo de mudas de café arábica (*Coffea arabica* L.) submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Coffee Science**, v. 5, n. 3, p. 251-261, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Plant physiology**. 6. ed. Massachusetts: Sinauer Associates, 858 p. 2017.

VAAST, P.; BERTRAND, B. PERRIOT, J. J.; GUYOT, B.; GÉNARD, M. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, p. 197-204, 2006.

VAAST, P.; Van KANTEN, R.; SILES, P; DZIB, B.; FRANCK, N.; HARMAND, J. M. Shade: a key factor for coffee sustainability and quality. In: **XX International Conference on Coffee Science**. 2004. Bangalore: Anais... 2005.

VALENTINI, L. S. de P.; CAMARGO, M; B; P; de; ROLIM, G. de S.; SOUZA, P. S.; GALLO, P. B. Temperatura do ar em sistemas de produção de café arábica em monocultivo e arborizado com seringueira e coqueiro-anão na região de Mococa, SP. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n.4, p. 1005-1010, 2010.

CAPÍTULO 3. Distribuição Espacial de Árvores e os Efeitos na Fenologia Reprodutiva de Cafeeiros e Qualidade de Bebida

3.1 Resumo

A qualidade sensorial da bebida de café resulta das condições de cultivo, colheita e beneficiamento dos grãos. O aumento da demanda por cafés especiais, com melhor qualidade de bebida, tem estimulado a incorporação de árvores nas lavouras cafeeiras. Entretanto, as espécies arbóreas e a distribuição dessas, na lavoura, alteram a intensidade da competição, entre os cafeeiros e as árvores, e modificam as condições ambientais, interferindo na fenologia reprodutiva e na qualidade de grãos e bebida de café. Assim, objetivou-se avaliar os efeitos da espécie arbórea e de sua distribuição espacial no cafezal no desenvolvimento fenológico reprodutivo e na qualidade de grãos e bebida de cafeeiro arábica 'IAC Obatã'. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com três repetições em esquema de parcelas sub-subdivididas. Sendo as parcelas as espécies arbóreas (*Anadenanthera falcata*, *Cassia grandis* e *Peltophorum dubium*), as subparcelas cinco distâncias em relação aos troncos das árvores (cafeeiros localizados na linha de plantio das árvores, a um metro e cinco metros de distâncias do tronco (D1L e D5L); cafeeiros localizados na entrelinha de plantio das árvores, paralelos a D1L e D5L (D1E e D5E); e PS,

cafeeiros localizados a 77 m do tronco das árvores, incidindo em um talhão a pleno sol) e, as sub-subparcelas as faces de exposição solar dos cafeeiros, norte e sul. Foi avaliado o desenvolvimento fenológico reprodutivo do cafeeiro durante os meses de junho/2017 e julho/2018. Para determinação da qualidade dos grãos e bebida foram avaliadas: massa de mil frutos cereja (MMF); massa de mil grãos (MMG); retenção em peneira (P18, P15-17, P12-14 e Cat); porcentagem dos defeitos: grãos ardidos (Ard), brocados (Bro), pretos (Pre) ou verdes (Ver); e prova da xícara (Beb). O estresse hídrico entre junho e setembro de 2017 homogeneizou a floração do cafeeiro. Na localização D1L, na linha de plantio das árvores e a um metro de distância do tronco dessa, a diferença na velocidade de maturação dos frutos entre as faces norte e sul foi atenuada, beneficiando uma colheita homogênea, ou seja frutos no mesmo estágio de maturação. Cafeeiros sombreados por *Cassia grandis* apresentaram maior massa de grãos. O sistema a pleno sol produziu grãos menores e mais leves.

3.2 Introdução

A construção do sabor do café inicia-se na lavoura, com o desenvolvimento dos frutos e se aprimora no beneficiamento dos grãos e preparo da bebida (SUNAHARUM; WILLIAMS; SMYTH, 2014).

Assim como ocorre com os vinhos, a qualidade sensorial do café, interfere no preço do produto e permite a inserção em mercados específicos (PENDERGAST, 1999), que pagam prêmio pela qualidade. Na última década, o aumento na demanda, tanto do mercado externo como interno, por cafés especiais (SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA, SCAA, 2015) tem estimulado a cafeicultura brasileira a se adaptar para produzir cafés com qualidade superior. Em 2018, 17,7% (6,3 milhões de sacas) do café exportado pelo Brasil foi classificado como especial ou gourmet (CECAFÉ, 2019). Os dados mais recentes do consumo interno, referentes a 2016, indicam que os brasileiros consumiram 490 mil sacas, cerca de 2,3% do total de café consumido no país (PROENÇA, 2017).

A qualidade do café é composta por características físicas, químicas e organolépticas (BOTE; VOS, 2017). Somam-se a essas, a presença de defeitos e objetos estranhos, como torrões de solo, galhos e pedras (BRASIL, 2003). A qualidade física é composta pelo tamanho e massa dos grãos, assim como a presença de defeitos intrínsecos, resultantes do manejo ou modificações fisiológicas e genéticas do cafeeiro (BRIGHENTI; CIRILLO, 2018). A qualidade organoléptica envolve os

sabores e aromas presentes na bebida, é o componente mais importante para determinação da qualidade do café (CRAIG et al., 2018).

A legislação brasileira que regulamenta e define os padrões de qualidade do café é a Instrução Normativa n.º 8 de 11 de junho de 2003 (BRASIL, 2003). No entanto, a inserção no mercado internacional tem levado as regiões produtoras a adotarem a escala SCAA (*Specialty Coffee Association of America*) de qualidade, que consiste em notas de 10 características, variando entre 0 e 100 pontos, sendo considerados cafés especiais os que alcançam nota superior a 80 pontos (GUIMARÃES et al., 2019).

Todas as características avaliadas para classificar o café como especial são influenciadas pelas condições ambientais dos sistemas de produção (BOTE; VOS, 2017), o sombreamento, por exemplo, proporciona aumento no tamanho e massa dos grãos de café (BOTE; STRUIK, 2011; DaMATTA et al., 2004; MORAES et al., 2006; MUSCHLER, 2001; VAAST et al., 2006) e reduz a velocidade de maturação dos frutos (PEZZOPANE et al., 2007; VAAST et al., 2006), fato que permite maior translocação de fotoassimilados e componentes que expressam paladar superior (ALVES et al., 2011).

Além disso, a incorporação de árvores no sistema cria biodiversidade funcional, capaz de controlar os ataques de brocas dos grãos (BEER, 1998). Por outro lado, se o manejo não for adequado e o sombreamento muito intenso, podem ocorrer sobreposições de ciclos produtivos (DaMATTA et al., 2007) o que possibilita a permanência e multiplicação da praga (RODRÍGUEZ et al., 2013), tendo efeito contrário.

No entanto, a distribuição espacial das árvores no cafezal pode modificar as condições ambientais e conseqüentemente alterar as características dos grãos e da qualidade da bebida. Muschler (2001), para explicar a semelhança do tamanho de grãos de café de sistemas sombreados com Eritrina (*Erythrina poeppigiana*) manejada por poda (manejo *pollarded*) com os de cafeeiros sombreados artificialmente, propôs a hipótese que cafeeiros localizados próximos aos troncos das árvores produzem grãos maiores quando comparados aos demais cafeeiros distribuídos no sistema agroflorestal. Pezzopane et al. (2007) verificaram que cafeeiros localizados mais próximos dos pseudocaulos de bananeiras 'prata-anã' produzem menos, atrasaram o intumescimento das gemas florais em 15 dias e a maturação dos frutos em sete dias. Também, Ricci et al. (2012) relataram que cafeeiros 'Obatã' sombreados atrasaram a

maturação dos frutos em comparação com os cafeeiros a pleno sol. No entanto, Silva Neto et al. (2018) avaliando cafeeiros Obatã, verificaram que os mais próximos dos troncos das árvores finalizaram a maturação antes que os demais. Os mesmos autores também mencionam que os grãos colhidos neste ponto proporcionaram melhor qualidade da bebida.

Objetivou-se avaliar o efeito da distribuição espacial e das espécies de arbóreas na fenologia reprodutiva do cafeeiro arábica 'IAC Obatã' e na qualidade de grãos e bebida.

3.3 Material e Métodos

3.3.1 Caracterização da Área Experimental

O ensaio foi conduzido na safra 2017/18, entre os meses de junho de 2017 e julho de 2018, na Fazenda Retiro Santo Antônio, localizada no município de Santo Antônio do Jardim (22°08'42"S de latitude e 46°41'50"W de longitude) no estado de São Paulo, Brasil, com altitude média de 894m (ALMEIDA, 2016). O clima da região é considerado, segundo a classificação de Köppen (1948), como subtropical úmido de inverno seco e verões temperados.

As temperaturas máximas, mínimas e médias mensais registradas no período da condução do experimento, bem como a precipitação pluviométrica acumulada, no município de Espírito Santo do Pinhal estão sumarizados na figura 1.1 (capítulo 1). Na figura 1.2 (capítulo 1), encontra-se o balanço hídrico.

Para a instalação do experimento foram utilizadas duas áreas adjacentes, um talhão formado em 2010 com cafeeiros da variedade IAC Obatã, no espaçamento de 1,0 x 3,5m, plantados em linhas no sentido Leste-Oeste, arborizado com espécies nativas, no espaçamento de 15,0 x 14,0m, solo Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico (OLIVEIRA, 2018). E um talhão vizinho com cafeeiros de mesma variedade, ano de implantação e orientação de plantio, porém, em sistema a pleno sol (figura 1.3A, capítulo 1), solo Argissolo Vermelho-Amarelo (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, 2006).

Os talhões estão localizados na altitude média entre 878 e 894 metros, declividade entre 3 e 5°, voltado para o nordeste (ALMEIDA, 2016). O talhão arborizado possui cinco espécies de árvores, porém somente três foram selecionadas para o ensaio: angico-do-cerrado (*Anadenanthera falcata* (Benth.) Speg.), canafístula (*Peltophorum dubium* (Speg.) Taub.) e cássia rosa (*Cassia grandis* L. f.). O quadro

1.1 (capítulo 1) descreve as principais características das árvores no ensaio e as imagens das árvores e sua localização no talhão estão no apêndice, figuras 1 a 4.

A adubação dos cafeeiros seguiu a recomendação do Boletim 100 (RECOMENDAÇÕES, 1997) em conformidade com os resultados das análises químicas dos solos. Foram realizadas quatro aplicações com ureia protegida, na dose de 50g por planta, duas aplicações de cloreto de potássio, 10g por planta, uma aplicação de composto orgânico a base de cama de frango, esterco bovino e palha de café, 1kg por planta.

O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados com três repetições, em esquema de parcela sub-subdividida. As parcelas foram formadas por três tratamentos, correspondendo as espécies arbóreas: T1 – cafeeiros sombreados por *A. falcata*; T2 – cafeeiros sombreados por *P. dubium*; e T3 – cafeeiros sombreados por *C. grandis*. A subparcela foram às cinco distâncias em relação aos troncos das árvores avaliadas: dois subtratamentos na linha de plantio das árvores, a um (D1L) e cinco metros (D5L) de distância do tronco das árvores; paralelamente a esses pontos, na entrelinha de plantio das árvores, dois outros subtratamentos foram instalados (D1E e D5E); por fim, o último subtratamento (PS) foi alocado a 77 metros de distância da linha de plantio das árvores, de tal forma que incidissem no sistema a pleno sol (figura 1.3B, capítulo 1). As sub-subparcelas corresponderam as faces de exposição solar dos cafeeiros, norte e sul.

A unidade experimental foi formada por seis cafeeiros, três plantas vizinhas de cada lado da árvore, porém, nos subtratamentos D1E, D5E e PS foram utilizados seis cafeeiros consecutivos, como mostra a figura 1.3B (capítulo 1).

3.3.2 Desenvolvimento Fenológico Reprodutivo do Cafeeiro

O desenvolvimento fenológico reprodutivo foi avaliado semanalmente, entre os meses de junho de 2017 e julho de 2018, seguindo a metodologia proposta por Pezzopane et al. (2003), que consiste em atribuir notas de 0 a 11 para cada estágio fenológicos, sendo eles: 0, gemas dormentes; 1, gema intumescida; 2, abotoamento; 3, florada; 4, pós-florada; 5, chumbinhos; 6, expansão dos frutos; 7, grão verde; 8, verde-cana; 9, cereja; 10, passas; e 11, seco (figura 5, apêndice). Foi considerado como estágio fenológico predominante aquele no qual se encontraram 50% das gemas/flores/frutos por ramo, sendo utilizada a nota com maior repetitividade (moda). As análises foram realizadas em três ramos plagiotrópicos em cada face de exposição

solar de cada uma das seis plantas da unidade amostral, sempre nos mesmos ramos identificados com fitas.

3.3.3 Colheita e Beneficiamento do Café

A colheita foi realizada quando 50% dos frutos de todo o experimento se encontravam no estágio cereja, entre os dias 7 e 9 de julho. Os frutos foram colhidos por derrixa manual sobre peneiras (Figura 1.3). No terreiro, os frutos foram separados em cereja, e boia, uma vez que não haviam frutos verdes em quantidades significativas, no lavador separador comercial (Lavador Separador de Café LBASE, Pinhalense).

Em seguida, os frutos foram alocados em sacos tipo Raschel e encaminhados para secagem em terreiro de cimento (Figura 1.4) até atingirem a umidade de 13%, ou seja, de café coco. Durante a secagem os sacos foram virados de hora em hora, no período entre 9:00 e 15:00 h. Sendo, amontoados e cobertos com lona a noite. O período de secagem se estendeu entre 10 e 30 de julho de 2018. Quando secos, os grãos foram descascados em descascador de amostra (Carmomaq – Tecnologia e Inovação para a Indústria de Café - Tipo: DRC 1, N°: 9498) e limpos manualmente, eliminando-se cascas, pedaços do pergaminho e demais resíduos.

3.3.4 Qualidade de Frutos, Grãos e Bebida

Para determinação da qualidade dos frutos avaliou-se a massa de mil frutos cereja (MMF), para a qualidade dos grãos avaliaram-se: massa de mil grãos (MMG), retenção em peneira (P18, P15-17, P12-14 e Cat), porcentagem dos defeitos grãos ardidos (Ard), brocados (Bro), pretos (Pre) ou verdes (Ver) e para a qualidade da bebida realizou-se a prova da xícara (Beb).

Para se determinar a massa de mil frutos cereja foram pesadas três repetições de 100 frutos cereja de cada unidade amostral em balança semi analítica, imediatamente após a separação dos frutos no lavador. Já a massa de mil grãos foi obtida por meio da pesagem de três repetições de 100 grãos inteiros sem defeitos provenientes de frutos cereja e boia, de cada unidade amostral (adaptado de MUSCHLER, 2001).

Amostras de 100g de grãos provenientes de frutos boia e cereja de cada unidade amostral foram passadas pelas peneiras chatas de nº 18 (18/62", malha de 7,37mm), 15 (15/62", malha de 6,15mm) e 12 (12/62", malha de 4,92mm), as porções

retidas em cada peneira e o restante dos grãos que ultrapassaram a menor peneira foram pesados e as massas transformadas em porcentagem.

Devido ao reduzido volume de produção de algumas das unidades experimentais, para a avaliação prova da xícara, foi necessário unir as produções das faces de exposição solar norte e sul. Portanto, foram coletadas amostras de 300 gramas de grãos secos e descascados advindos dos frutos colhidos nos estádios cereja e boia de cada subparcela. As amostras foram enviadas a empresa Qualicafex - *Specialty Coffee*. A avaliação da bebida foi realizada por três provadores profissionais da empresa que efetuaram uma degustação por amostra, sendo cada amostra composta por cinco xícaras. Foram analisadas características sensoriais de aroma, doçura, acidez, corpo, sabor, bebida limpa, gosto remanescente e balanço do café, que somadas geram a nota geral para a bebida, de acordo as diretrizes propostas pela Associação Americana de Cafés Especiais (SCAA - *Specialty Coffee Association of America*). Cada avaliador atribuiu uma nota entre zero e 100. E a nota final foi a média entre as notas dos três avaliadores para cada amostra.

A contagem dos defeitos dos grãos de café, por subparcela, também foi realizada pela empresa Qualicafex, por meio da identificação visual e separação manual em amostras de 300 g. Os defeitos avaliados foram grãos verdes, brocadas, pretos e ardidos (BRASIL, 2003).

3.3.4 Forma de Análise dos Resultados

Para análise do desenvolvimento fenológico reprodutivo, as modas das notas atribuídas durante a avaliação do estágio fenológico das repetições foram plotadas em uma tabela com escala de cores e analisados qualitativamente.

Para a variável retenção dos grãos em peneiras (tamanho de peneira), cada espécie arbórea foi analisada individualmente em esquema de parcela sub-subdividida. A parcela foi formada pela distribuição espacial da espécie, a subparcela pelas faces de exposição solar do cafeeiro e as sub- subparcelas pelas malhas das peneiras chatas de nº 18 (18/62", malha de 7,37mm), 15 (15/62", malha de 6,15mm) e 12 (12/62", malha de 4,92mm).

Para as variáveis prova da xícara e porcentagem de defeitos dos grãos utilizou-se o esquema de parcelas subdivididas, sendo as espécies arbóreas a parcela e distribuição espacial das árvores as subparcelas.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey à 5% de significância, por meio do software R Studio.

Para a interpretação das interações entre as características de qualidade dos frutos, grãos e bebida, realizou-se a Análise de Componentes Principais (PCA – *Principal Components Analysis*). Sendo utilizado a descrição das parcelas (espécie arbórea) e dos sistemas de cultivo (arborizado ou a pleno sol) como variáveis qualitativas suplementares, ou seja, essas informações não contribuíram para a formação dos componentes principais, mas permitiram plotar o centro de gravidade dos dados em função de sua caracterização. Posteriormente, as subparcelas (distribuição espacial) foram agrupados em classes semelhantes por meio da análise de agrupamento hierárquico em componentes principais (HCPC – *Hierarchical Clustering on Principal Components*). Ambas as análises foram realizadas no software R Studio (HUSSON; LE; PAGES, 2010).

3.4 Resultados e Discussão

3.4.1 Desenvolvimento Fenológico Reprodutivo

As gemas florais deixaram o estágio de dormência entre a última semana de junho e a segunda de julho (figura 3.1). Porém, a floração só ocorreu na última semana do mês setembro (figura 3.1), devido ao volume significativo das chuvas ocorridas a partir da terceira semana deste mês, que somaram 153mm (figura 1.1, capítulo 1).

Segundo Soares et al. (2005) as gemas florais têm início de desenvolvimento descompassado, um dos fatores que acarretam várias floradas principais. Os mesmos autores relatam que o déficit hídrico somente tem potencial para finalizar a quiescência dos botões quando estes cessaram o desenvolvimento inicial, o que ocorre quando as gemas se sobressaem às estípulas, apresentam coloração verde-claro e de aproximadamente 4mm de tamanho. Chuvas que ocorram antes deste período não foram capazes de estimular a floração (CARR, 2001). Assim, é possível compreender como somente as chuvas de setembro (figura 1.1, capítulo 1) foram capazes de recuperar o turgor das plantas e estimular a floração.

A homogeneidade na floração pode ser explicada pelo longo período de estiagem que perdurou entre a segunda quinzena de julho e o final de setembro, dando oportunidade para que as gemas florais mais atrasadas terminassem o seu desenvolvimento, como também observados pelos autores Carr (2001) e Soares et al. (2005).

Guerra et al. (2005) trabalhando com cortes de irrigação em cafeeiros no cerrado recomendam, para a uniformização da floração, um período de estresse hídrico entre a segunda quinzena de junho e o fim de agosto ou quando se atinge um potencial hídrico foliar inferior a $-2,0\text{MPa}$. Já Soares et al. (2005) consideram o estágio fenológico dos botões florais um parâmetro mais seguro para se determinar o momento ideal de induzir o estresse hídrico, o que no caso de Viçosa, MG, Brasil, deveria ocorrer no mês de agosto.

No experimento foi observada apenas uma florada principal (figura 3.1). De acordo com Pezzopane et al. (2003) e Soares et al. (2005) a ocorrência de apenas uma florada é pouco comum para cafeeiro arábica. Nas condições brasileiras, entre os meses de agosto e novembro o *C. arabica* apresenta entre duas e quatro floradas principais (DaMATTA et al., 2007). Uma única florada principal evidencia a severidade do estresse hídrico observado durante o experimento (figura 1.2, capítulo 1).

O estágio de pós florada corresponde ao período pós antese, no qual a fecundação já foi realizada e ocorre a senescência e desprendimento das pétalas. Para esse estágio, não ocorreram diferenças entre os tratamentos (figura 3.1). Destaca-se que durante esse período e até a finalização do estágio seguinte, o de chumbinho, os frutos não são considerados dormentes, mas o crescimento se dá a nível celular, principalmente por multiplicação celular, tanto do pericarpo, quanto do endosperma (DaMATTA et al., 2007).

A estágio de chumbinho teve duração distinta entre os pontos avaliados, mesmo a floração tendo sido uniforme (figura 3.1). É natural que frutos de uma mesma flora se desenvolvam em velocidades distintas, algo que aparenta ser uma adaptação evolutiva da espécie para evitar a exaustão. Isso uma vez que os frutos são drenos prioritários de fotoassimilados e nutrientes (DaMATTA et al., 2007). Assim, fatores ambientais, notavelmente a temperatura (VAAST et al., 2006) são capazes de influenciar o desenvolvimento dos frutos (DaMATTA et al., 2007).

Para os cafeeiros sombreados por *A. falcata*, o estágio de rápido crescimento dos frutos iniciou-se mais tardiamente para os pontos mais distantes do tronco das árvores (D5E e PS) nas faces voltadas ao sul (figura 3.1), e não houve diferença entre os demais pontos sombreados pela espécie, para ambas as faces. A face sul dos cafeeiros localizados na entrelinha de plantio da árvore, distante cinco metros do tronco (D5E) e em PS de *C. grandis* (figura 3.1) se comportaram da mesma forma que as em *A. falcata*. Entretanto, a face norte dos cafeeiros localizados na linha de plantio

da árvore, distante 5 metros do tronco (D5L) de *C. grandis* foi a primeira a mudar de estágio (primeira semana de novembro), juntamente com as faces norte de cafeeiros localizados em D1L e D5L de *P. dubium* (figura 3.1).

O estágio de crescimento acelerado dos frutos durou entre 9 e 11 semanas, estendendo-se entre a primeira semana de novembro e a última de janeiro (figura 3.1). Segundo DaMatta et al. (2007), esse estágio perdura por aproximadamente dez semanas, corroborando com o encontrado. No final deste estágio, os grãos atingem o tamanho final de crescimento. As diferenças iniciais entre a velocidade de maturação entre as faces norte e sul observadas a partir do estágio de crescimento acelerado dos frutos foram mantidas ao longo de toda a maturação (figura 3.1).

Já para o estágio de crescimento lento dos frutos, que corresponde ao enchimento dos grãos, teve menor duração na face norte do PS e maior na face sul de D5L de *P. dubium* (figura 3.1), 11 e 16 semanas, respectivamente. De forma geral, houve maior período de enchimento dos grãos na face sul. Para os cafeeiros sombreados por *A. falcata* não houve diferença na duração deste estágio, 13 semanas, tanto para a localização dos cafeeiros quanto para as faces de exposição solar. Entretanto, o descompasso iniciado no estágio anterior foi mantido, contribuindo com que a face norte dos cafeeiros localizados em D1E, D5E e D1L terminassem esse estágio anteriormente à face sul (figura 3.1). Para a *C. grandis*, a distância do tronco das árvores propiciou enchimento mais lento entre 12 e 13 semanas em D1L, 13 e 13 em D5L, 14 e 15 em D1E e D5E, para as faces norte e sul, respectivamente (figura 3.1).

Para os cafeeiros sombreados por *P. dubium*, o enchimento dos grãos começou antes para os pontos mais próximos do tronco das árvores, contribuindo para que esses frutos tivessem maior período de enchimento dos grãos (figura 3.1).

Esse estágio perdurou entre 10 e 16 semanas, alcançando algumas semanas a mais do que as 11 semanas relatadas por DaMatta et al. (2007). Esse é um estágio de extrema importância para a qualidade final do produto, uma vez que, quando completo, determinará a massa final dos grãos (DaMATTA et al., 2007), sendo que grãos mais densos possuem melhor qualidade de bebida (VAAST et al., 2006).

O início do amadurecimento dos frutos, estágio verde-cana, teve duração de uma semana para todos os pontos avaliados, iniciando-se na segunda semana de abril. Já a maturação plena, frutos cereja, foi sempre mais curta na face norte, com exceção dos pontos D1L para a *A. falcata*, onde a face sul teve menor duração nesse

estádio, e em D1E de *P. dubium* onde ambas as faces tiveram a mesma duração de frutos nesse estágio (figura 3.1).

A partir do estágio de verde cana, os pontos das entrelinhas (D1E e D5E) se comportaram de forma muito semelhante, ocorrendo diferença na maturação em função da espécie arbórea. A entrelinha de *A. falcata* começou a maturação uma semana após o PS, a de *P. dubium* duas semanas após PS e *C. grandis* atrasou três semanas em relação ao PS (figura 3.1).

Os primeiros pontos a maturarem foram na face norte o PS e a DL1 em *C. grandis*, o que ocorreu na primeira semana de abril (figura 3.1). Segundo Bardin-Camparotto, Camargo e Moraes (2012), na região de Santo Antônio do Jardim, SP a maturação deveria se iniciar na segunda quinzena de junho para a cv. 'IAC Obatã', período esse no qual todos os pontos avaliados já haviam completado a maturação.

Para *A. falcata*, os pontos D1L, D1E e D5E iniciaram a maturação de forma semelhante, entretanto, na face sul, o estágio cereja teve menor duração em D1L que na entrelinha. Os frutos em D5L iniciaram a maturação mais tardiamente que os demais pontos sombreados por essa espécie, resultado de maior período de enchimento dos grãos, porém, a face norte deste ponto apresentou maturação acelerada, evidenciado pela menor permanência no estágio cereja.

A maturação foi acelerada nos pontos mais próximos dos troncos de *C. grandis* (figura 3.1). O ponto D5L e as entrelinhas se comportaram muito semelhantemente entre si, quanto ao início e duração dos estádios de verde-cana, cereja e passa (figura 3.1). Entretanto, a face norte de D1L sofreu aceleração da maturação de forma semelhante ao observado na mesma face do PS, perdurando somente uma semana no estágio cereja (figura 3.1).

Nos pontos sombreados por *P. dubium* a maturação na face norte de D1L e D5L se comportou da mesma forma, sendo mais breve que os demais pontos sombreados, porém não foi acelerada quanto no PS. Os pontos D5L e D1E sombreados por *P. dubium* não apresentaram diferença no tempo de maturação em relação as faces norte e sul. Porém, devido a diferenças iniciadas nos estádios anteriores, a face sul maturou mais tarde, como em todo o experimento (figura 3.1).

A declividade do terreno, a orientação do plantio e latitude do experimento, em associação com o formato das copas e porte das árvores sugerem que a face norte das linhas de plantio das árvores recebe menor sombreamento, o que pode sugerir aumento da evaporação da água do solo e da temperatura do ar, acelerando a

maturação dos frutos. Além disso, no ponto D1L, deve-se considerar a competição por água, uma vez que há sobreposição das raízes de cafeeiros com as das árvores de sombreamento, como apontado por Morinigo et al. (2017).

A alta demanda do sistema por água e a baixa pluviosidade no período de maturação (figura 1.1, capítulo 1) podem ter estimulado a maturação acelerada observada em D1L para a *C. grandis*. Segundo, Padovan et al. (2018), as espécies de sombreamento possuem distintas taxas evaporativas, afetando os cafeeiros imediatamente a baixo da copa. Aparecido et al. (2018) também destacam que uma das variáveis ambientais mais importantes para reger a velocidade da maturação é a presença ou ausência de água no solo, sendo a velocidade inversamente proporcional a disponibilidade de água. O formato e densidade da copa das árvores também podem explicar a rápida maturação dos frutos de cafeeiros localizados em D5L sombreados por *A. falcata*, uma vez que a copa elíptica horizontal apresenta pouca resistência à passagem de radiação.

Em comparação com o PS, todas as espécies arbóreas avaliadas tiveram influência positiva no prolongamento da maturação para a face de exposição norte, exceto D1L em *C. grandis*. Entretanto, para as faces voltadas ao sul, o efeito não foi observado com a mesma intensidade, tendo sido indiferente para quase todos os tratamentos, a exceção D1L em *A. falcata*, onde se observou aceleração da maturação (figura 3.1).

Uma hipótese provável é que o auto sombreamento proporcionado pelo cafeeiro já prolonga ao limite o processo de maturação, principalmente em plantio de orientação leste-oeste, como é o caso deste experimento.

Os resultados nesse ensaio também permitem questionar se as espécies escolhidas para o sombreamento, de comportamento decíduo (LORENZI, 2009), são realmente adequadas para o consócio com cafeeiro, objetivando o aumento da qualidade da bebida. Uma vez que as espécies arbóreas iniciaram a desfolha no mesmo período em que a maturação dos frutos é mais crítica, início de abril, como relatado por Oliveira (2018). O que ocasiona o aumentando da incidência de radiação e, conseqüentemente, das temperaturas.

A face norte dos cafeeiros do PS e em D1L sombreados pela *C. grandis* foram os pontos que passaram primeiro para o estágio de fruto seco, oito semanas antes da face sul. Esses pontos foram seguidos pela face norte de D5L em todas as árvores de sombreamento e por D1E de *P. dubium*, que evoluíram para o estágio de frutos secos

5 semanas antes que a face sul (figura 3.1). O ponto com menor diferença entre as faces norte e sul para o fim do ciclo fenológico reprodutivo, de duas semanas, foi observado em D1L de *A. falcata*. Nos demais pontos do sistema, as diferenças entre as faces foram entre três e quatro semanas. Todos os tratamentos permaneceram somente uma semana no estágio passa, seguindo imediatamente para o estágio de fruto seco (figura 3.1).

Por outro lado, a presença das árvores conseguiu reduzir a diferença entre o fim da maturação nas faces de exposição. Após a maturação, os grãos começam a perder qualidade (GIOMO, 2012), principalmente pela ação de microrganismos, em especial fungos, que ao colonizarem os frutos deterioram os compostos desejados da bebida (IAMANAKA et al., 2014). No outro extremo, frutos imaturos são os grandes responsáveis pelo aumento de defeitos, como grãos pretos e verdes, além de gerarem qualidade inferior de bebida (SILVA NETO et al., 2018), prejudicando o lote como um todo. Dessa forma, a desuniformidade da maturação no talhão dificulta a colheita, que idealmente é realizada quando há máxima quantidade de frutos em estágio cereja (GIOMO, 2012).

Figura 3.1 – Desenvolvimento fenológico de cafeeiros ‘IAC Obatã’ sombreados por *Anadenanthera falcata*, *Cassia grandis* e *Peltophorum dubium* em função da distribuição espacial, com face de exposição solar ao norte (N) e ao sul (S). Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.

Árvore	Distância	Face	jun/17	jul/17	ago/17	set/17	out/17	nov/17	dez/17	jan/18	fev/18	mar/18	abr/18	mai/18	jun/18	jul	
<i>A. falcata</i>	D1L	N	0 0 0 0	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 2	4 4 5 5 5	5 6 6 6	6 6 6 6	6 6 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 8 9 9	9 9 10 11	11 11 11 11	11	
		S	0 0 0 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 2	4 4 5 5 5	5 6 6 6	6 6 6 6	6 6 6 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 8	9 9 9 10	11 11 11 11	11	
	D5L	N	0 0 0 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 2	4 4 5 5 5	5 6 6 6	6 6 6 6	6 6 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 8	9 10 11 11	11 11 11 11	11	
		S	0 0 0 0	0 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 2	4 4 5 5 5	5 6 6 6	6 6 6 6	6 6 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 8	9 9 9 9	9 9 10 11	11	
	D1E	N	0 0 0 0	0 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 2	4 4 5 5 5	5 6 6 6	6 6 6 6	6 6 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 8 9 9	9 9 10 11	11 11 11 11	11	
		S	0 0 0 0	0 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 2	4 4 5 5 5	5 6 6 6	6 6 6 6	6 6 6 6 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 8	9 9 9 9	9 9 10 11	11	
	D5E	N	0 0 0 0	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 2	4 4 5 5 5	5 6 6 6	6 6 6 6	6 6 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 8 9 9	9 9 10 11	11 11 11 11	11	
		S	0 0 0 0	0 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 2	4 4 5 5 5	5 5 6 6	6 6 6 6	6 6 6 6 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 8	9 9 9 9	9 10 11 11	11	
	PS	N	0 0 0 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	4 4 5 5 5	5 6 6 6	6 6 6 6	6 6 6 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 8 9 10 11	11 11 11 11	11 11 11 11	11	
		S	0 0 0 0	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 2	4 4 5 5 5	5 5 6 6	6 6 6 6	6 6 6 6 6	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	8 9 9 9	9 9 10 11	11	
	<i>C. grandis</i>	D1L	N	0 0 0 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 2	4 4 5 5 5	5 6 6 6	6 6 6 6	6 6 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 8 9 10 11	11 11 11 11	11 11 11 11	11
			S	0 0 0 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 2	4 4 5 5 5	5 6 6 6	6 6 6 6	6 6 6 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 8 9	9 9 9 9	9 10 11 11	11
D5L		N	0 0 0 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 2	4 4 5 5 5	6 6 6 6	6 6 6 6	6 6 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 8 9 9 9	9 10 11 11	11 11 11 11	11	
		S	0 0 0 0	0 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 2	4 4 5 5 5	5 6 6 6	6 6 6 6	6 6 6 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 8 9	9 9 9 9	9 10 11 11	11	
D1E		N	0 0 0 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 2	4 4 5 5 5	5 6 6 6	6 6 6 6	6 6 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 8	9 9 10 11	11 11 11 11	11	
		S	0 0 0 0	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 2	4 4 5 5 5	5 6 6 6	6 6 6 6	6 6 6 6 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 9 9 9	9 9 10 11	11	
D5E		N	0 0 0 0	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 2	4 4 5 5 5	5 6 6 6	6 6 6 6	6 6 6 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 8	9 9 10 11	11 11 11 11	11	
		S	0 0 0 0	0 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 2	4 4 5 5 5	5 5 6 6	6 6 6 6	6 6 6 6 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 8 9 9 9	9 9 10 11	11	
PS		N	0 0 0 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	4 4 5 5 5	5 6 6 6	6 6 6 6	6 6 6 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 8 9 10 11	11 11 11 11	11 11 11 11	11	
		S	0 0 0 0	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 2	4 4 5 5 5	5 5 6 6	6 6 6 6	6 6 6 6 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	8 9 9 9	9 9 10 11	11	
<i>P. dubium</i>		D1L	N	0 0 0 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 2	4 4 5 5 5	6 6 6 6	6 6 6 6	6 6 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 8	9 9 10 11	11 11 11 11	11
			S	0 0 0 0	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 2	4 4 5 5 5	5 5 6 6	6 6 6 6	6 6 6 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 8 9	9 9 9 9	9 10 11 11	11
	D5L	N	0 0 0 0	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 2	4 4 5 5 5	6 6 6 6	6 6 6 6	6 6 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 8 9 9 9	9 10 11 11	11 11 11 11	11	
		S	0 0 0 0	0 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 2	4 4 5 5 5	5 5 6 6	6 6 6 6	6 6 6 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 8 9 9 9	9 9 10 11	11	
	D1E	N	0 0 0 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 2	4 4 5 5 5	5 6 6 6	6 6 6 6	6 6 6 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 8 9	9 9 10 11	11 11 11 11	11	
		S	0 0 0 0	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 2	4 4 5 5 5	5 5 6 6	6 6 6 6	6 6 6 6 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 8 9 9 9	9 9 10 11	11	
	D5E	N	0 0 0 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 2	4 4 5 5 5	5 6 6 6	6 6 6 6	6 6 6 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 8 9	9 10 11 11	11 11 11 11	11	
		S	0 0 0 0	0 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 2	4 4 5 5 5	5 6 6 6	6 6 6 6	6 6 6 6 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 8 9 9 9	9 9 9 10	11	
	PS	N	0 0 0 1	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	4 4 5 5 5	5 6 6 6	6 6 6 6	6 6 6 6 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 8 9 10 11	11 11 11 11	11 11 11 11	11	
		S	0 0 0 0	1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1 1 1 1 2	4 4 5 5 5	5 5 6 6	6 6 6 6	6 6 6 6 6	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	7 7 7 7 7	8 9 9 9	9 9 10 11	11	

D1L, cafeeiros localizadas a um metro de distância do tronco, na linha de plantio das árvores; D5L, cafeeiros localizadas a 5 metros de distância do tronco, na linha de plantio das árvores; D1E, cafeeiros localizados na entrelinha de plantio das árvores, paralelos a D1L; D5E, cafeeiros localizados na entrelinha de plantio das árvores, paralelos a D5L; e PS, cafeeiros localizadas a 77 metros do tronco das árvores, incidindo em um talhão a pleno sol. Notas do desenvolvimento fenológico: 0, gemas dormentes; 1, gema intumescida; 2, abotoamento; 3, florada; 4, pós-florada; 5, chumbinhos; 6, expansão dos frutos; 7, grão verde; 8, verde-cana; 9, cereja; 10, passas; e 11, seco

3.4.2 Qualidade de Frutos, Grãos e Bebida

Para a massa de mil frutos no estádio cereja não houve efeito dos tratamentos (tabela 3.1). Já para a massa de mil grãos de frutos cereja e boia houve efeito isolado dos fatores espécie arbórea e distribuição espacial das árvores (tabela 3.1).

Os grãos advindos de frutos boias provenientes de cafeeiros sombreados por *C. grandis* apresentaram massa superior aos sombreados pelas demais espécies arbóreas (tabela 3.1). Também os grãos provenientes de frutos cereja de cafeeiros sombreados pela *C. grandis* apresentaram maior massa que os sombreados pela *A. falcata* (tabela 3.1).

Tabela 3.1 – Massa de 1.000 frutos cereja e de 1.000 grãos provenientes de frutos boia e cereja de cafeeiros IAC Obatã, em função das espécies arbóreas, de sua distribuição espacial no cafezal e face de exposição solar. Santo Antônio do Jardim SP, 2018.

	Massa de 1.000	Massa 1.000 grãos	
	frutos cereja	Boia	Cereja
	----- (g) -----		
Espécies arbóreas			
<i>A. falcata</i>	1075,22	106,79 b	122,54 b
<i>C. grandis</i>	1100,05	112,91 a	128,43 a
<i>P. dubium</i>	1124,15	107,13 b	124,60 ab
CV (%)	17,2	5,7	4,3
Distribuição espacial			
D1L	1126,23	113,76 a	129,07 a
D5L	1081,21	110,62 a	125,99 ab
D1E	1110,40	111,50 a	123,97 ab
D5E	1110,06	111,92 a	127,49 a
PS	1071,13	96,91 b	119,43 b
CV (%)	10,2	9,0	6,4
Face de exposição solar			
Face Norte	1104,27	108,78	126,24
Face Sul	1095,34	109,10	124,13
CV (%)	9,7	4,5	4,7

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas para distribuição espacial das árvores e maiúsculas para a face de exposição solar do cafeeiro, não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey à 5% de significância. Cafeeiros localizados na linha de plantio das árvores, a um metro e cinco metros (D1L e D5L); cafeeiros localizados na entrelinha de plantio das árvores, paralelos a D1L e D5L (D1E e D5E); e PS, cafeeiros localiza a 77 metros do tronco das árvores, incidindo em um talhão a pleno sol.

Observando os dados de radiação fotossinteticamente ativa, incidente nos cafeeiros principalmente no horário entre 11:00 e 13:00 horas solares (figura 1.7 e tabela 1.2, capítulo 1), os pontos localizados na entrelinha das árvores (D1E e D5E) e o D5L, na linha de plantio das árvores, distante 5 m do tronco apresentavam condições

mais semelhantes ao PS (77 metros de distância do tronco das árvores). Essa variação ambiental pode explicar o comportamento intermediário de D5L e D1E quanto a massa de 1000 grãos cereja.

Para a variável retenção dos grãos em peneiras houve efeito isolado do crivo das peneiras para os cafeeiros sombreados por *A. falcata* e *C. grandis* (tabela 3.2). Para ambas as espécies a maior quantidade de grãos advindos de frutos boia e cereja foram retidos na peneira de 15-17 seguida pela peneira de 12-14 (tabela 3.2).

Tabela 3.2 – Retenção de grãos provenientes de frutos boia e cereja nas peneiras em função das diferentes espécie arbóreas de sombreamento, da distribuição espacial no cafezal, face de exposição solar e crivo da peneira nº 18 (18/62”, malha de 7,37mm), 15 (15/62”, malha de 6,15mm) e 12 (12/62”, malha de 4,92mm). Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.

	<i>A. falcata</i>		<i>C. grandis</i>		<i>P. dubium</i>	
	Boia	Cereja	Boia	Cereja	Boia	Cereja
	----- % -----					
≥18	4,76 c	8,60 c	5,19 c	9,84 c	5,79 c	10,51 c
15-17	55,86 a	64,42 a	66,04 a	71,56 a	65,58 a	72,77 a
12-14	33,93 b	23,96 b	25,24 b	17,15 b	25,45 b	15,56 b
<12	5,44 c	3,02 d	3,52 c	1,45 d	3,39 d	1,15 d
CV(%)	18,2	26,5	16,6	16,6	13,8	12,5

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas para distribuição espacial das árvores e maiúsculas para a face de exposição solar do cafeeiro, não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey à 5% de significância. Cafeeiros localizados na linha de plantio das árvores, a um metro e cinco metros (D1L e D5L); cafeeiros localizados na entrelinha de plantio das árvores, paralelos a D1L e D5L (D1E e D5E); e PS, cafeeiros localiza a 77 metros do tronco das árvores, incidindo em um talhão a pleno sol.

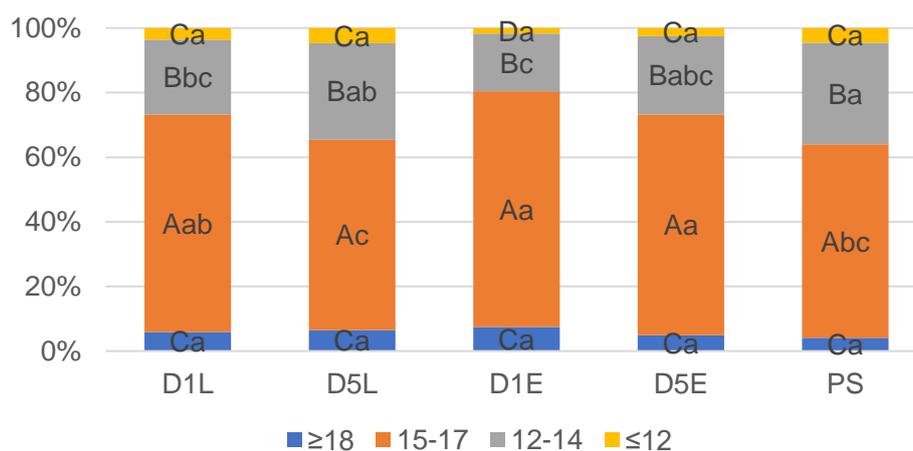
Segundo DaMatta et al. (2008), o tamanho final dos grãos é determinado pelo status hídrico da planta e do solo na fase final do estágio de expansão dos frutos, cerca 17 semanas após o florescimento. Assim, a presença das árvores pode ter colaborado para a manutenção da água no solo, como também relatado por Padovan et al. (2015).

Para os grãos de frutos boia sombreados por *P. dubium* houve interação entre os fatores distribuição espacial das árvores x taxa de retenção nas peneiras e da face de exposição solar x taxa de retenção nas peneiras (tabela 3.2).

Em todos os pontos a maior retenção de grãos ocorreu entre as peneiras de 15-17 (figura 3.2). O ponto D1L não se diferenciou do PS quanto a porcentagem de grãos retidos entre as peneiras 15-17, porém, produziu menos grãos entre 12-14 que o PS (figura 3.2). O ponto D5L se comportou da mesma forma que o PS, quanto ao

tamanho dos grãos. Já os demais pontos no sistema agroflorestal não se diferenciaram entre si, não permitindo fazer uma relação entre o tamanho dos grãos e a proximidade do tronco das árvores.

Figura 3.2 – Taxa de retenção em porcentagem nas peneiras ≥ 18 , entre 15-17, 12-14 e < 12 de grãos boia provenientes de cafeeiros ‘IAC Obatã’ sombreados por *P. dubium*, em função da sua distribuição espacial no cafezal. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.



Médias seguidas da mesma letra, minúscula para a distribuição espacial das árvores e maiúscula para a taxa de retenção das peneiras, não se diferenciaram segundo o teste de Tukey à 5% de probabilidade. Cafeeiros localizados na linha de plantio das árvores, a um metro (D1L) e cinco metros (D5L); cafeeiros localizados na entrelinha de plantio das árvores, paralelos a D1L e D5L (D1E e D5E); e PS, cafeeiros localizados a 77 metros do tronco das árvores.

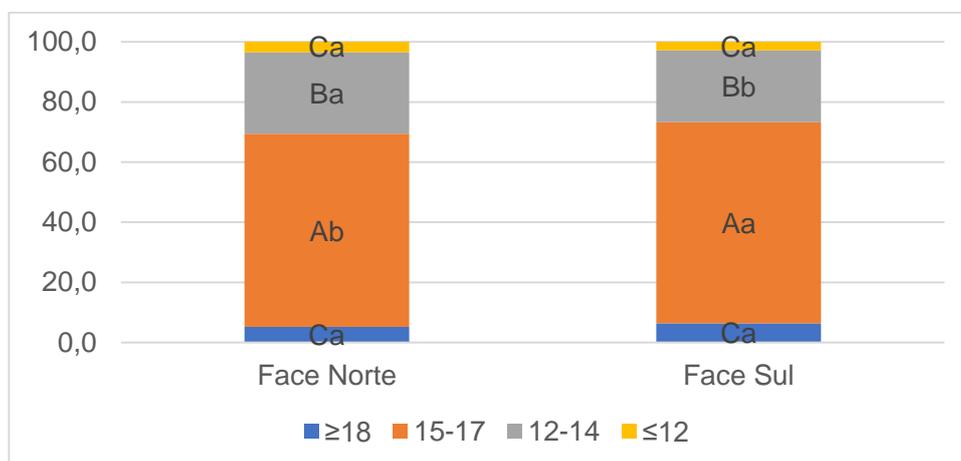
Muschler (2001) levantou a hipótese que em sistemas com sombra desuniforme, como o encontrado em baixa ocupação do solo pelo componente arbóreo, a proximidade em relação ao tronco resulta em grãos maiores, devido ao maior sombreamento. Também Moraes et al. (2006), Muschler (2001), Vaast et al (2006) observaram que grãos provenientes de sistemas a pleno sol são menores que os de sistemas sombreados. Entretanto, a redução no tamanho dos grãos com o aumento da luminosidade não foi observada nesse ensaio.

As espécies arbóreas não difeririam quanto à densidade da copa (tabela 2.1, capítulo 1) e radiação fotossinteticamente ativa incidente sob os cafeeiros. Entretanto, segundo Muschler (2001), o sombreamento permite a redução da temperatura no sistema, o que resulta no aumento dos grãos. Neste trabalho, as temperaturas entre os tratamentos não foram acompanhadas. Porém, Ricci et al. (2013) encontrou diferenças nas temperaturas de sistemas sombreados em função da espécie arbórea utilizada.

Em relação a distribuição espacial das árvores no cafezal os grãos provenientes de frutos boia apresentaram menor massa em PS e os demais não diferiram entre si (tabela 3.2) Já para os grãos provenientes de frutos cereja, cafeeiros localizados em D1L e D5E produziram grãos mais pesados que os de cafeeiros localizados em PS (tabela 3.1). O sombreamento resulta em grãos maiores (BOTE; STRUIK, 2011; DaMATTA et al., 2004, MORAIS et al., 2006, MUSCHLER, 2001; VAAST et al., 2006), o que corrobora com o encontrado.

Na interação taxa de retenção dos grãos nas peneiras x face de exposição solar do cafeeiro, ambas as faces se comportaram semelhantemente quanto a peneira com mais porcentagem de retenção dos grãos. A maior retenção ocorreu nas peneiras 15-17, seguida por 12-14 e por fim ≥ 18 e < 12 , que não se distinguiram entre si (figura 3.3). Entretanto, a face de exposição norte produziu maior quantidade de grãos menores que a sul, o que foi representado pela maior retenção na peneira 12-14 e menor em 15-17 nesta face, em comparação com a face sul (figura 3.3).

Figura 3.3 – Taxa de retenção em porcentagem nas peneiras ≥ 18 , entre 15-17, 12-14 e < 12 de grãos boia provenientes de cafeeiros ‘IAC Obatã’ sombreados por *P. dubium*, em função da face de exposição solar do cafeeiro. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.



Médias seguidas da mesma letra, minúscula para a face de exposição solar dos cafeeiros e maiúscula para a taxa de retenção das peneiras, não se diferenciaram segundo o teste de Tukey à 5% de probabilidade. Cafeeiros localizados na linha de plantio das árvores, a um metro (D1L) e cinco metros (D5L); cafeeiros localizados na entrelinha de plantio das árvores, paralelos a D1L e D5L (D1E e D5E); e PS, cafeeiros localizados a 77 metros do tronco das árvores.

Esse resultado difere dos relatados por Custódio et al. (2015), que ao avaliarem o efeito das faces de exposição solar de cafeeiros ‘Mundo Novo’ sob diferentes manejos de irrigação em Matão, SP, Brasil, encontraram que a face de exposição solar noroeste,

mais ensolarada, produziu maiores porcentagens de grãos retidos nas peneiras nº 16 e acima. Os autores justificaram esse resultado a maior incidência de radiação nesta face, o que também possibilitou maior produção.

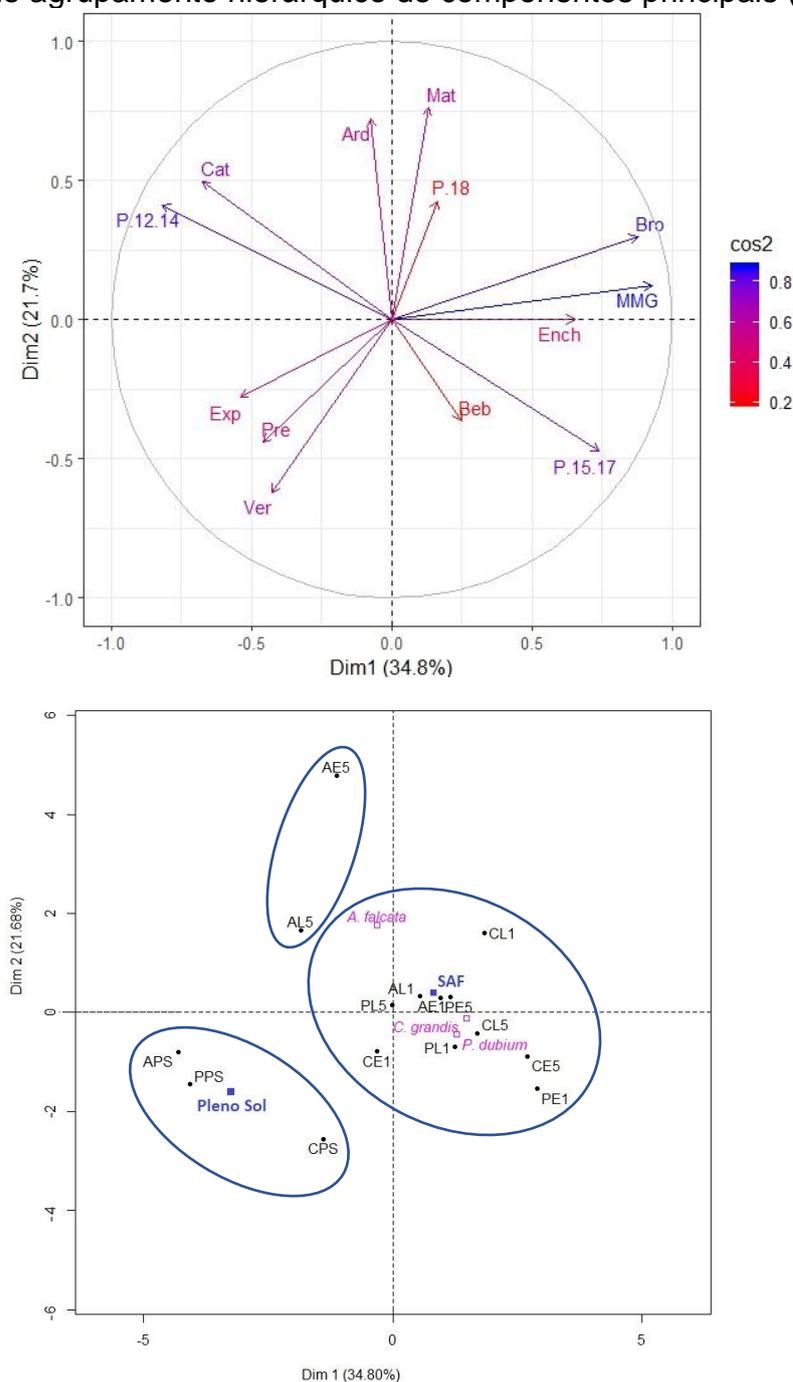
Por outro lado, DaMatta (2004) explica que o incremento da produtividade resultante de maiores irradiâncias ocorre pelo recrutamento de mais gemas produtivas, acarretando em mais frutos por ramos. Segundo Vaast et al. (2006), o aumento da competição por fotoassimilados pelos frutos em condições de alta carga da planta restringe o tamanho dos grãos. Os resultados encontrados neste experimento, referente a maior produtividade da face norte (tabela 1.5, capítulo 1) e menor tamanho de seus grãos (figura 3.3), corroboram o apontado por DaMatta (2004) e Vaast et al. (2006).

Para a análise dos componentes principais de grãos advindos de frutos boia foram avaliadas as variáveis prova da xícara (Beb); massa de mil grãos (MMG); porcentagem de grãos ardidos (Ard), brocados (Bro), pretos (Pre) e verdes (Ver); porcentagem de grãos retidos na peneira núm. 17 (P 17), entre as peneiras núm. 15 e 17 (P15-17), entre as peneiras núm. 12 e 14 (P 12-14) e grãos menores que a peneira núm. 12 (Cat); semanas no estádio de expansão dos frutos (Exp), enchimento dos grãos (Enc) e maturação dos frutos (Mat). (figura 3.4). Para facilitar a interpretação os tratamentos foram renomeados em siglas, que consistiam de uma letra inicial para representar a espécie arbórea (“A” para *A. falcata*; “C” para *C. grandis* e “P” para *P. dubium*), uma letra para a localização em relação às árvores (“L” para linha, “E” para a entrelinha ou PS para cafeeiros a 77 metros de distância do tronco) e um número para a distância em relação ao tronco das árvores (“1” ou “5” metros).

Os dois componentes principais correspondem por 56,48% (34,80% para o primeiro componente principal e 21,68% para o segundo), revelando baixa correlação entre as variáveis. Entre as treze variáveis analisadas, somente cinco apresentaram \cos^2 superior 0,7 e, portanto, são mais representativas para a formação dos componentes principais. Foram elas a MMG, Bro, P15-17, P12-14 e Cat (figura 3.4).

As variáveis P12-14 e Cat estão fortemente relacionadas e são opostas a P15-17, o que já era aguardado, uma vez que a retenção nas peneiras está em porcentagem, o aumento de uma das categorias resulta na redução da outra. Além disso, as variáveis MMG e Bro, também se correlacionaram. Assim, em relação ao primeiro componente principal, as variáveis MMG, Bro e P15-17 contribuem positivamente, enquanto que P12-14 e Cat negativamente para a formação da figura. No segundo componente principal, somente a variável P15-17 contribuiu negativamente (figura 3.4).

Figura 3.4 – Análise de componentes principais em função da espécie de sombreamento e da distribuição espacial dos cafeeiros em relação ao tronco das árvores para grãos provenientes de frutos boa. destaca em azul as classes geradas pela análise de agrupamento hierárquico de componentes principais (HCPC).



Cafeeiros sombreados por *Anadenanthera falcata* (A), *Cassia grandis* (C) e *Peltophorum dumbium* (P) localizados na linha de plantio das árvores, a um metro e cinco metros (L1 e L5); cafeeiros localizados na entrelinha de plantio das árvores, paralelos a L1 e L5 (E1 e E5); e PS, cafeeiros localizados a 77 metros do tronco das árvores, incidindo em um talhão a pleno sol (PS). Descrição das variáveis: prova da xícara (Beb); massa de mil grãos (MMG); porcentagem de grãos ardidos (Ard), brocados (Bro), pretos (Pre) e verdes (Ver); porcentagem de grãos retidos na peneira núm. 17 (P 17), entre as peneiras núm. 15 e 17 (P15-17), entre as peneiras núm. 12 e 14 (P 12-14) e grãos menores que a peneira núm. 12 (Cat); semanas no estágio de expansão dos frutos (Exp), enchimento dos grãos (Enc) e maturação dos frutos (Mat).

A incorporação de árvores em lavouras cafeeiras reduz a populações da broca, devido ao aumento da presença de inimigos naturais e entomopatógenos (ATALLAH; GÓMEZ; JARAMILLO, 2018; BEER, 1998; MARIÑO et al., 2016; PINTO; PERFECTO; CABALLIERO-NIETO, 2002). Por outro lado, é notório que os grãos provenientes de sistemas sombreados são maiores (BOTE; STRUIK, 2011; DaMATTA et al., 2004, MORAIS et al., 2006, MUSCHLER, 2001; VAAST et al., 2006).

Dessa forma, a correlação entre o tamanho maior dos grãos e o maior ataque de brocas aparenta ser resultado da casualidade. Ainda assim, DaMatta et al. (2007) destacam que em altas condições de sombreamento ocorre a sobreposição de ciclos reprodutivos, o que permite a permanência e multiplicação das pragas no sistema (RODRÍGUEZ et al., 2013). Isso poderia explicar o aumento dos grãos brocados nos pontos mais próximos das árvores, onde ocorre naturalmente a produção de grãos maiores.

Pela distribuição dos tratamentos na figura 3.4, entende-se que os grãos provenientes de frutos boia de PS, independentemente da árvore de sombreamento, eram menores e mais leves que os do sistema sombreado. O sistema a pleno sol também teve menos grãos brocados em relação ao sistema sombreado.

Porém, em relação a distribuição espacial das árvores de sombreamento no cafezal, somente os pontos distantes cinco metros do tronco de *A. falcata*, na linha e entrelinha (AE1 e AE5) se distinguiram dos demais (figuras 3.4 e 3.5). Nesses pontos, os grãos foram menores que no restante do sistema.

Os pontos AL5 e AE5, cafeeiros sombreados por *A. falcata* na linha das árvores, distantes cinco metros do tronco, e na entrelinha de plantio das árvores, mais distantes do tronco, distinguiram-se dos demais no sistema sombreado principalmente em função da maior quantidade de grãos menores, o que aproximou esses pontos do sistema a pleno sol, como mostra a figura 3.5. Entretanto, a presença de grãos brocados, como observado em todos os pontos do sistema sombreado, resultou no agrupamento à parte destes pontos e de PS.

Mesmo as espécies arbóreas não terem se distinguido quanto a densidade do dossel e a redução da radiação fotossinteticamente ativa, todas as espécies tiveram menor influência na entrelinha que na linha, principalmente no intervalo do meio dia. Assim, *A. falcata* de copa elíptica horizontal, que apresenta menor resistência à radiação, dentre as espécies de sombreamento utilizadas, somada a menor

influência da copa nos pontos mais distantes do tronco, explica o comportamento intermediário entre a classe dos pontos a pleno sol e a no sistema sombreado.

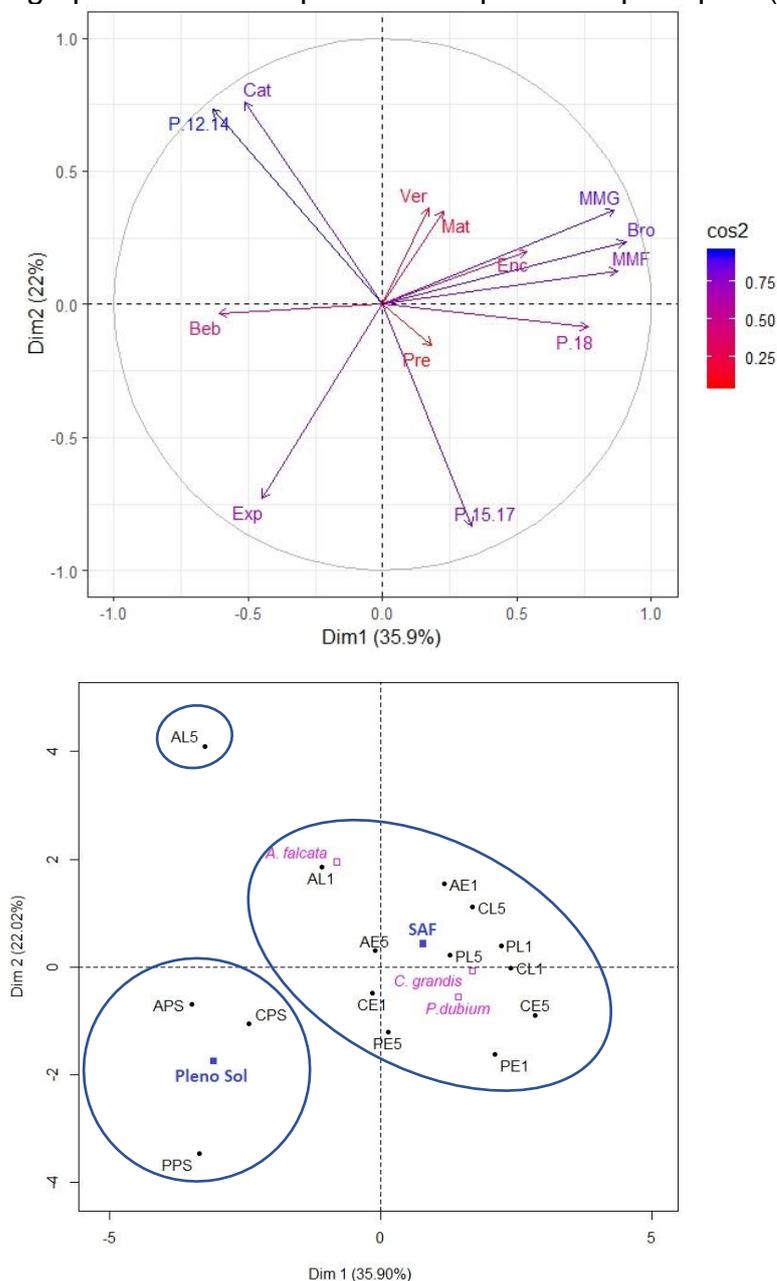
Para os grãos provenientes de frutos cereja, os dois componentes principais apresentados correspondem por 57,92% (35,90% para o primeiro componente principal e 22,02% para o segundo) (figura 3.5) Das trezes variáveis analisadas, apenas sete apresentaram \cos^2 superior 0,7 e, portanto, são mais representativas para a formação dos componentes principais: massa de mil grãos (MMG), massa de mil frutos (MMF), porcentagem de grãos brocados (Bro), semanas no estágio de expansão dos frutos (Exp), porcentagem de grãos retidos entre as peneiras de número 15 e 17 (P15-17), entre 12 e 14 (P12-14) e de grãos menores que a peneira número 12 (Cat) (figura 3.6).

As variáveis P12-14 e Cat estão fortemente relacionadas e são opostas a P15-17, o que já era aguardado, uma vez que a retenção nas peneiras está em porcentagem, o aumento de uma das categorias resulta na redução das demais, também já se esperava que peneiras de malhas próximas se comportassem semelhantemente. Além disso, as variáveis MMG, MMF e Bro, também se correlacionaram positivamente entre si e negativamente com Exp. No primeiro componente principal, MMG, MMF e Bro contribuem positivamente. No segundo, P12-14 e Cat contribuem positivamente e P15-17 e Exp, negativamente (figura 3.6).

Assim como ocorreu com os grãos de frutos boia, os grãos de frutos cereja foram mais brocados no sistema agroflorestal (figura 3.6).

Segundo DaMatta et al. (2007), a fase de expansão dos frutos determina o tamanho final dos grãos. O que é evidenciado pela correlação positiva entre Exp e P15-17. Entretanto o prolongamento desse estágio fenológico não resultou no aumento do tamanho dos grãos em PS, que apresentaram a maior duração do estágio de expansão dos frutos. Teores maiores de grãos de menor tamanho foram encontrados no sistema a pleno sol (tabela 3.2). Também o status hídrico da planta e do solo são fatores fundamentais para determinar o tamanho final dos grãos (DaMatta et al., 2007). Assim, mesmo o PS prolongado a fase de enchimento dos grãos, a proteção que as árvores promovem no solo, mantendo a umidade (PADOVAN et al., 2015) pode ter estimulado o maior crescimento dos grãos de cafeeiros sombreados.

Figura 3.5 – Análise de componentes principais em função da espécie de sombreamento e da distribuição espacial dos cafeeiros em relação ao tronco das árvores para grãos provenientes de frutos cereja. destaca em azul as classes geradas pela análise de agrupamento hierárquico de componentes principais (HCPC).



Cafeeiros sombreados por *Anadenanthera falcata* (A), *Cassia grandis* (C) e *Peltophorum dumbium* (P) localizados na linha de plantio das árvores, a um metro e cinco metros (L1 e L5); cafeeiros localizados na entrelinha de plantio das árvores, paralelos a L1 e L5 (E1 e E5); e PS, cafeeiros localizados a 77 metros do tronco das árvores, incidindo em um talhão a pleno sol (PS). Descrição das variáveis: prova da xícara (Beb); massa de mil grãos (MMG); porcentagem de grãos ardidos (Ard), brocados (Bro), pretos (Pre) e verdes (Ver); porcentagem de grãos retidos na peneira núm. 17 (P 17), entre as peneiras núm. 15 e 17 (P15-17), entre as peneiras núm. 12 e 14 (P 12-14) e grãos menores que a peneira núm. 12 (Cat); semanas no estágio de expansão dos frutos (Exp), enchimento dos grãos (Enc) e maturação dos frutos (Mat).

A maior quantidade de grãos de tamanho inferior em AL1 resultou na discriminação deste ponto dos demais no SAF (figuras 3.6 e 3.7) De acordo com a HCPC (figura 3.7), as características deste ponto estão mais próximo do sistema a pleno sol, que do SAF.

Os demais defeitos e a qualidade da bebida não foram afetados pelos tratamentos em análise. Destaca-se, porém, que os defeitos grãos verdes, pretos ou ardidos, somados, representaram 2,0% dos grãos provenientes de frutos boia e 0,4% dos provenientes de cereja, valores reduzidos quando comparados com os relatados por Custódio et al. (2015) que encontraram porcentagem total de defeitos próximo dos 15%.

Na prova da xícara as amostras variaram entre 80,00 pontos e 83,75. Assim, todos os grãos produzidos neste experimento, sejam provenientes de frutos boia ou cereja, em todas os pontos avaliados, apresentam qualidade superior de bebida, podendo ser considerados cafés especiais (GUIMARÃES et al., 2019). É importante lembrar que a variedade IAC Obatã, utilizada neste experimento é reconhecida pelo seu altíssimo potencial de qualidade (CARVALHO, 2007).

3.5 Conclusões

O longo período de estiagem homogeneizou o florescimento, acarretando em uma única florada principal para todos os tratamentos.

O autosombreamento proporcionado pelos cafeeiros afetou com maior intensidade a prolongação de seu desenvolvimento fenológico reprodutivo que a presença das árvores, fato evidenciado pelo prolongamento do período de desenvolvimento fenológico na face de exposição solar sul. Entretanto, na linha de plantio das árvores no ponto a 1 m de distância do tronco das árvores a diferença entre o período de maturação dos frutos entre as faces norte e sul foi atenuada, o que beneficia a colheita, possibilitando que mais frutos sejam colhidos no estágio cereja.

O ponto mais distante das árvores, em PS, produziu grãos menores e mais leves. Cafeeiros sombreados por *Cassia grandis* apresentaram grãos mais pesados, independente da distribuição espacial.

A variedade IAC Obatã gera grãos de altíssima qualidade, sendo que a distribuição espacial das árvores ou sua espécie não alteram esse potencial.

O sombreamento favoreceu a incidência de grãos brocados.

3.6 Literatura citada

- ALMEIDA, A. C. S de. **Geotecnologias na gestão de propriedades agrícolas cafeeiras**. 2016, 45 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Agroecologia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2016.
- ALVES, H. M. R.; VOLPATO, M. M. L.; VIEIRA, T. G. C.; BORÉM, F. M.; BARBOSA, J. N. Características ambientais e qualidade da bebida dos cafés do Estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 261, p. -, mar./abr. 2011.
- APARECIDO, L. E. de O.; ROLIM, G. de S.; MORAES, J. R. da S. C. de; VALERIANO, T. T. B.; LENSE, G. H. E. Maturation periods for *Coffea arabica* cultivars and their implications for yield and quality in Brazil. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, p. 3880-3891, 2018.
- ATALLAH, S. S.; GÓMEZ, M. I.; JARAMILLO, J. Abioeconomic model of ecosystem services provision: coffee berry borer and shade-grown coffee in Colombia. **Ecological Economic**. v. 144, pp. 129-138, 2018.
- BARDIN-CAMPAROTTO; L. CAMARGO, M. B. PA. de; MORAES, J. L. de. Época provável de maturação para diferentes cultivares de café arábica para o Estado de São Paulo. **Ciência Rural**, v. 42, n. 4, p. 594-599, abr., 2012.
- BEER, J.; MUSCHLER, R.; KASS, D.; SOMARRIBA, E. Shade management in coffee and cacao plantations. **Agroforestry Systems**, v. 38, n 1-3, p. 139-164, 1998.
- BOTE, A. D.; STRUIK, P. C. Effects of shade on growth, production and quality of coffee (*Coffea arabica*) in Ethiopia. **Journal of Horticulture and Forestry**. v. 3, n. 5, pp. 805-812, 2011.
- BOTE, A. D.; VOS, J. Tree management and environmental conditions affect (*Coffea arabica*) bean quality. **NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences**. v. 83, pp. 39-46, 2017.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 8, de 11 de junho de 2003. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 20 ago. 2003. Seção 1, p. 22-29.
- BRIGHENTI, C. R. G.; CIRILLO, M. A. Analysis of defects in coffee beans compared to biplot for simultaneous tables. **Revista Ciência Agronômica**. v. 49, n. 1, pp. 62-69, jan.-mar.,2018.
- CAMARGO, A. P. de; CAMARGO, M. B. P. de. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 1, pp. 65-68, 2001.
- CARR, M. K. V. The water relations and irrigation requirements of coffee. **Experimental Agriculture**, v. 37, p. 1-36, 2001.

CARVALHO, C. H. S. **Cultivares de Café**. Brasília: EMBRAPA, 247 p., 2007.

Conselho dos Exportadores de Café do Brasil, CECAFÉ. **Relatório Mensal** Dezembro de 2018. Disponível em:

<<https://www.cecafe.com.br/publicacoes/relatorio-de-exportacoes/>>. Acesso em: 11 fev. 2019.

CRAIG, A. P.; BOTELHO, N. G.; OLIVEIRA, L. S.; FRANCA, A. S. Mid infrared spectroscopy and chemometrics as tools for the classification of roasted coffees by cup quality. **Food Chemistry**, v. 245, pp. 1052-1061, 2018.

CUSTÓDIO, A. A. de P.; LEMOS, L. B.; MINGOTTE, F. L. C.; POLLO, G.Z.; FIORENTIN, C. F.; ALVES, G. S. P. Qualidade do café sob manejo de irrigação, faces de exposição solar e posições na planta. **Irriga**, v. 20, n. 1, pp. 177-192, jan.-mar., 2015.

DaMATTA, F. M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. **Field Crops Research**, v. 86, p. 99-114, 2004.

DaMATTA, F. M.; RONCHI, C. P.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 4, pp. 485-510, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

FERREIRA, R. de P. **Ecofisiologia do cafeeiro sombreado com macaúba em sistemas agroflorestais**. 2017, 56 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

GIOMO, G. S. Uma boa pós-colheita é segredo da qualidade. **A Lavoura**. Rio de Janeiro, v. 115, n. 688, p.12-21, fev. 2012.

GUERRA, A. F.; ROCHA, O. C.; RODRIGUES, G. C.; SANZONOWICZ, C.; XAMPAIO, J. B. R.; SILVA, H. C.; ARAÚJO, M. C. Irrigação do cafeeiro no Cerrado: estratégias de manejo de água para uniformização de florada. **Comunicado Técnico nº 122**, 2005

GUIMARÃES, E. R.; LEME, P. H. M. V.; REZENDE, D. C. de; PEREIRA, S. P.; SANTOS, A. C. dos. The brand new Brazilian specialty coffee market. **Journal of Food Products Marketing**, v. 25, n. 1, 2019.

HUSSON, F.; LE, S.; PAGES, J. **Exploratory multivariable analysis by exemple using R**. 2010. Disponível em:

<<http://127.0.0.1:19022/library/FactoMineR/html/PCA.html>>, Acesso em: 06 jan. 2019

IAMANAKA, B. T.; TEIXEIRA, A. A.; TEIXEIRA, A. R. R.; COPETTI, M. V., BRAGAGNOLO, N.; TANIWAKI, M. H. Reprint pf “The mycobiota of coffee beans

and its influence on the coffee beverage". **Food Research International**, v. 61, p. 33-38, 2014.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de tierra. 1 ed., México, Buenos Aires: Fondo de cultura económica. 1948.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2009. 384 p.

MARINÓ, Y. A.; PÉREZ, M. E.; GALLARDO, F.; TRIFILIO, M.; CRUZ, M.; BAYMAN, P. Sun vs shade affects infestation, total population and sex ratio of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampa*) in Puerto Rico. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 222, pp. 258-266, 2016.

MORAIS, H., CARAMORI, P.H., RIBEIRO, A.M.A., GOMES, J.C., KOGUISHI, M.S. Microclimatic characterization and productivity of coffee shaded with pigeonpea and unshaded in southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, 2006

MORAIS, H.; CARAMORI, P. H.; KOGUISHI, M. S.; GOMES, J. C.; RIBEIRO, A. M. de A. Sombreamento de cafeeiros durante o desenvolvimento das gemas florais e seus efeitos sobre a frutificação e produção. **Ciência Rural**, v. 39, n. 2, pp. 400-406, mar.-abr., 2009.

MORINIGO, K. P. G.; GUIMARÃES, N. de F.; STOLF, R.; SAIS, A. C.; SOUZA, M. D. B.; GALLO, A. de S.; FONTANETTI, A. Efeito da distribuição de árvores sobre atributos do solo em cafeeiro sombreado. **Coffee Science**, v. 12, n. 4, pp. 517-525, out.-dez., 2017.

MUSCHLER, R. G. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. **Agroforestry Systems**, v. 85, p. 131-139, 2001.

PADOVAN, M. P.; CORTEZ, V. J.; NAVARRETE, L. F.; NAVARRETE, E. D.; DEFFNER, A. C.; CENTENO, L. G.; MUNGUÍA, R.; MARRIOS, M.; VÍLCHEZ-MENDOZA, J. S.; VEJA-JARQUÍN, C.; BROOK, R. M.; RAPIDEL, B. Root distribution and water use in coffee shaded with *tabebuia rosea* Bertol. and *Simarouba glauca* DC. compared to full sun coffee in sub-optimal environmental conditions. **Agroforest Systems**, v. 89, p. 857-868, 2015.

PADOVAN, M. P.; BROOK, R. M.; BARRIOS, M.; CRUZ-CASTILLO, J. B.; VÍLCHEZ-MENDOZA, S. J.; COSTA, A. N.; RAPIDEL, B. Water loss by transpiration and soil evaporation in coffee shaded by *Tabebuia rosea* bertol. and *Simarouba glauca* dc. compared to unshaded coffee in sub-optimal environmental conditions. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 248, p. 1-14, 2018.

PENDERGAST, M. **Uncommon grounds**: The history of coffee and how it transformed our world. New York: Basic Books, 458 p., 1999.

PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO JÚNIOR, M.J; GALLO, P. B.; CAMARGO, M. B. P. de; FAZUOLI, L. C. Avaliações fenológicas e agronômicas em café arábica cultivado

a pleno sol e consorciado com banana 'prata anã'. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 701-709. 2007.

PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; THOMAZIELLO, R. A.; CAMARGO, M. B. P. de. Escala para avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro arábica. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n.3, p. 499-505, 2003.

PROENÇA, M. P. Pesquisa revela crescimento de 25% no consumo de cafés especiais. **Espresso**, São Paulo, 28 nov. 2017. Disponível em: <http://revistaespresso.com.br/2017/11/28/pesquisa-revela-crescimento-de-181-no-consumo-brasileiro-de-cafes-especiais/>. Acesso em: 11 fev. 2019.

RECOMENDAÇÕES de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. 285 p. (Boletim Técnico ; n. 100).

RICCI, M. dos S. F.; COSTA, J. R.; OLIVEIRA, N. G. de. Utilização de componentes principais para analisar o comportamento do cafeeiro a pleno sol e sombreado. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 1, pp. 44-54, jan.-abr., 2011.

RICCI, M. dos S. F.; COCHETO JUNIOR, D. G.; ALMEIDA, F. F. D. de. Condições microclimáticas, fenologia e morfologia externa de cafeeiros em sistemas arborizados e a pleno sol. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 3, p. 379-388, jul.-set., 2013.

RODRÍGUEZ, D. GUTIERREZ, A. P.; CURE, J. R.; TORRES, J. M. C. Acoffee agroecosystem model: II Dynamics of coffee berry borer. **Ecological Modelling**, v. 248, pp. 203-214, 2013.

SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION - SCAA. **Specialty Coffee Facts and Figures**. 2015. Disponível em: <<https://sca.coffee/research/specialty-coffee-facts-figures/>>. Acesso em: 15 jun. 2018.

SILVA NETO, F. J. da; MORINIGO, K. P. G.; GUIMARÃES, N. de F.; GALLO, A. de S.; SOUZA, M. D. B. de; STOLF, R.; FONTANETTI, A. Shade trees spatial distribution and its effects on grains and beverage quality of shaded coffee trees. **Journal of Food Quality**, v. 2018, 8p., 2018.

SOARES, A. R. MANTOVANI, E. C.; RENA, A. B.; SOARES, A. A. Irrigação e fisiologia da floração em cafeeiros adultos na região da zona da mata de Minas Gerais. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 27, n. 1, p. 117-125, jan.-mar., et al., 2005

SOTO-PINTO, L.; PERFECTO, I.; CABALLERO-NIETO, J. Shade over coffee: its effects on berry borer, leaf rust and spontaneous herbs in Chiapas, Mexico. **Agroforestry Systems**, v. 55, pp. 37-45, 2002.

SUNAHARUM; W. B.; WILLIAMS; D. J.; SMYTH, H. E. Complexity of coffee flavor: A compositional and sensory perspective. **Food Research International**, v. 62, pp. 315-325, 2014.

VAAST, P.; BERTRAND, B. PERRIOT, J. J.; GUYOT, B.; GÉNARD, M. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, p. 197-204, 2006.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As espécies arbóreas selecionadas para a realização deste trabalho são caducifólias, semi decíduas, caso da *A. falcata* e *C. grandis* ou decídua, caso da *P. dubium*. Fato que sugere a necessidade de estudar o efeito de espécies perenifólias em cafeeiros sombreados para compreender como a variação da cobertura do dossel ao longo do ano afeta o cafeeiro e qualidade de seus grãos.

A variedade utilizada IAC Obatã tem baixo vigor vegetativo, sendo comum em lavouras comerciais a reforma do cafezal após 10 anos de produção. As plantas utilizadas no ensaio foram implantadas em 2007, sendo que a safra analisada foi provavelmente a última antes da reforma das lavouras. A baixa produtividade impossibilitou que se avaliasse o efeito da face de exposição solar quanto a qualidade da bebida. Porém, o acompanhamento do desenvolvimento fenológico indica que a face norte do ponto localizado a 77 m dos troncos das árvores, incidindo em um talhão a pleno solo, o processo de maturação dos frutos (estádio cereja para passa) durou apenas uma semana, fato que provavelmente contribui para geração de bebida de baixa qualidade, o que não pode ser analisado neste experimento.

A metodologia empregada durante a amostragem da avaliação de trocas gasosas, de utilização de uma parcela de referência, se mostrou como uma ferramenta fundamental para a execução da pesquisa. Já que, sem essa, não seria possível avaliar todos os fatores (espécie de sombreamento, distribuição espacial no

cafezal e face de exposição solar) contidos no designe experimental, sem que ocorressem mudanças quanto as características ambientais ao longo das horas de avaliação.

Além disso, recomenda-se que investigações futuras incluam análises microclimáticas, minimamente o acompanhamento das temperaturas entre os pontos avaliados em função da distribuição espacial das árvores de sombreamento no cafezal. Também o acompanhamento da umidade do solo possibilitaria melhor entendimento quanto aos fenômenos envolvidos no desenvolvimento dos cafeeiros e na qualidade dos grãos de plantas em sistemas arborizados, ou seja, com baixa ocupação do solo pelo componente florestal.

A severa estiagem observada no local do experimento entre os meses de junho e setembro de 2017 impossibilitou testar a hipótese de que a presença das árvores possibilita que pequenos volumes de chuvas antecipem a floração em cafeeiros mais próximos do tronco das árvores. Sendo recomendado que, em experimentos futuros que visem entender as relações entre a distribuição espacial das árvores de sombreamento e qualidade, que se repita o acompanhamento fenológico desde o intumescimento das gemas florais.

Por fim, conclui-se que a técnica de sombreamento de cafeeiros proporciona um ambiente mais adequado para o desenvolvimento das plantas e de café com qualidade superior, além dos incalculáveis benefícios socioambientais da incorporação de espécies florestais nativas nos ambientes de produção agrícolas. Sendo esta, recomendada, principalmente para pequenos produtores, visto a possibilidade de inserção em mercados especiais e a possibilidade de conservação ambiental aliada a produtividade.

APÊNDICE

Apêndice 1 – Fotografias e localização das espécies arbóreas utilizadas no experimento; Escala de notas para o desenvolvimento fenológico reprodutivo do cafeeiro.

Figura 1 – Fotografias da espécie arbórea *Anadenathera falcata* (Benth.) Speg..



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 2 – Fotografias da espécie arbórea *Pelthoforum dubium* (Speg.) Taub..



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 3 – Fotografias da espécie arbórea *Cassia grandis* L. f..



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 4 – Localização das espécies arbóreas que compõem o sistema agroflorestal utilizado no experimento. As siglas em vermelho destacam as árvores selecionadas para o ensaio. Santo Antônio do Jardim, SP. 2019.

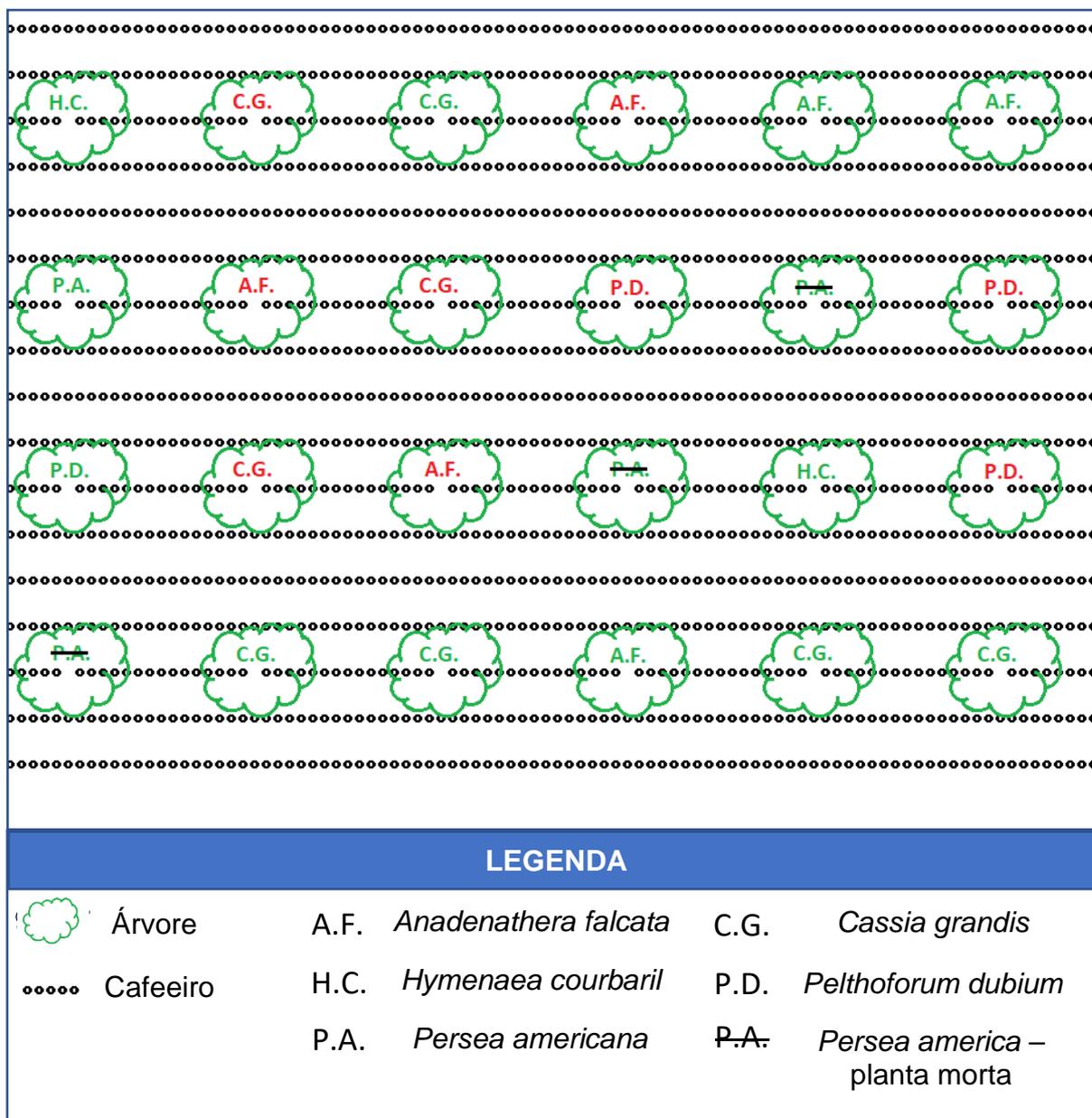
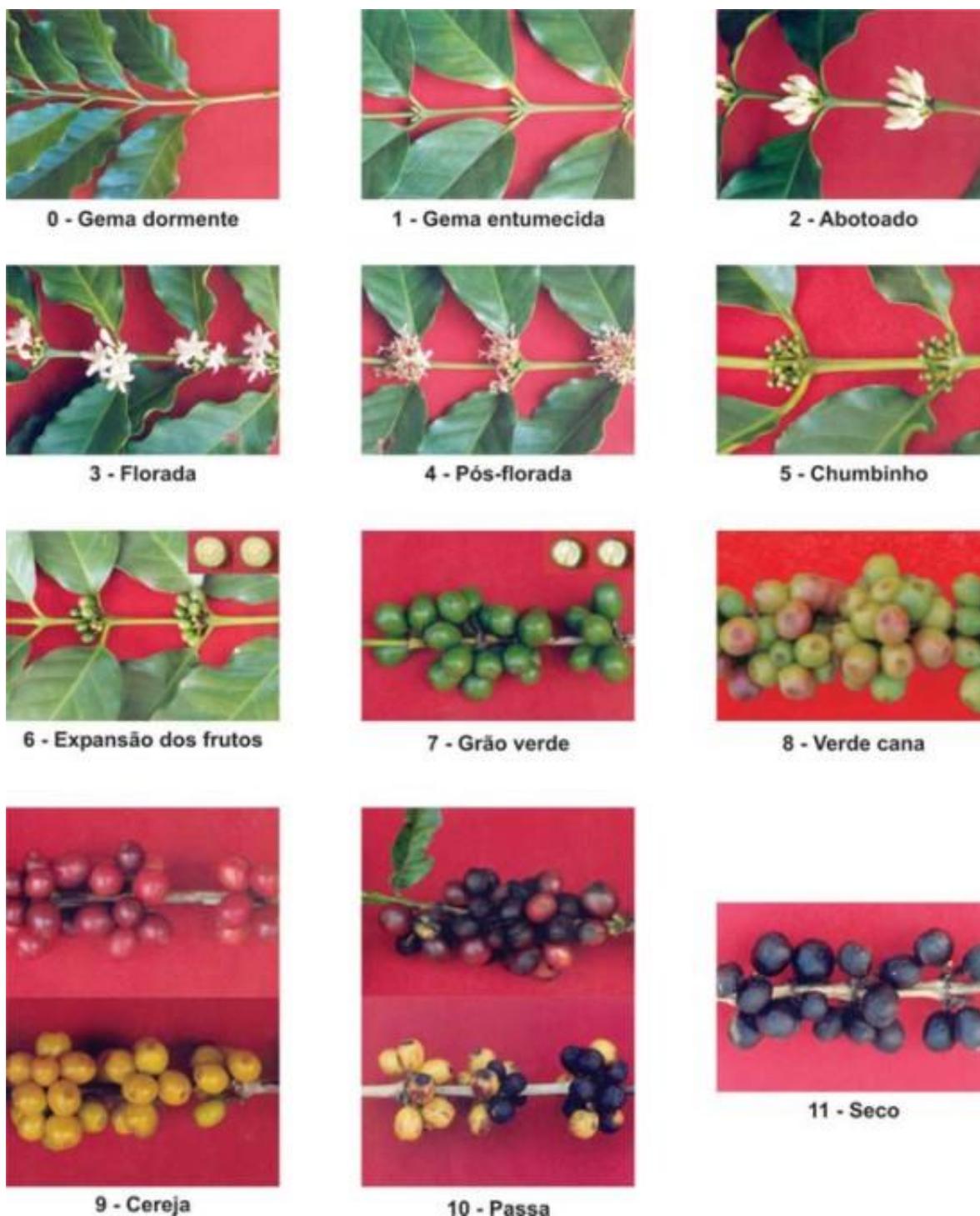


Figura 5 – Escala de notas para o desenvolvimento fenológico reprodutivo do cafeeiro proposto por Pezzopane et al. (2003).



Fonte: <http://www.scielo.br/img/revistas/brag/v62n3/3a15f01.gif>

Apêndice 2 – Resumo das análises de variância e teste de médias

Tabela 1 – Resumo da análise de variância e teste de médias para a densidade do dossel (CD) e taxa de contribuição para cobertura do dossel (COR) das árvores em função da espécie, distribuição espacial e face de exposição solar em épocas de alta (ADE) e baixa (BDE) demanda energética do cafeeiro. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.

	CD		COR	
	----- % -----		----- % -----	
	ADE	BDE	ADE	BDE
Parcela (P)				
Teste F	0,77 ^{ns}	6,09 ^{ns}	1,61 ^{ns}	0,84 ^{ns}
DMS (5%)	15,80	17,17	36,49	41,32
Subparcela (S)				
Teste F	2,62	6,39 ^{**}	53,39 ^{***}	54,14 ^{***}
DMS (5%)	7,21	8,78	10,68	10,68
Sub-subparcela (SS)				
Teste F	5,43 ^{**}	1,51	7,60 [*]	7,35 [*]
DMS (5%)	2,40	2,08	4,47	4,86
F da interação				
P x S	0,91 ^{ns}	0,78 ^{ns}	1,56 ^{ns}	3,02 [*]
P x SS	0,19 ^{ns}	1,33 ^{ns}	1,69 ^{ns}	1,54 ^{ns}
S x SS	0,06 ^{ns}	1,31 ^{ns}	2,34 ^{ns}	0,94 ^{ns}
P x S x SS	0,51 ^{ns}	0,74 ^{ns}	1,15 ^{ns}	1,58 ^{ns}

^{ns} não significativo em nível de 5% de probabilidade, de acordo com o teste de F; ^{*} significativo a 5%, ^{**} 1% e ^{***} 0,5 % de probabilidade de acordo com o teste F.

Tabela 2 – Resumo da análise de variância e teste de médias para a radiação fotossinteticamente ativa (*PAR*) incidente em cafeeiros 'IAC Obatã' em função da espécie de sombreamento, distribuição espacial das árvores e face de exposição solar em épocas de alta (ADE) e baixa (BDE) demanda energética do cafeeiro. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.

	ADE		BDE	
	----- $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ -----		----- $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ -----	
	07:00-9:00	11:00-13:00	07:00-9:00	11:00-13:00
Parcela (P)				
Teste F	4,88 ^{ns}	0,14 ^{ns}	1,24 ^{ns}	0,41 ^{ns}
DMS (5%)	366,3	636,4	741,55	519,56
Subparcela (S)				
Teste F	14,13 ^{***}	19,83 ^{***}	13,45 ^{***}	5,08 ^{**}
DMS (5%)	370,2	411,6	313,75	370,67
Sub-subparcelas (SS)				
Teste F	3,54 ^{ns}	10,95 ^{**}	15,42 ^{***}	14,72 ^{***}
DMS (5%)	150,3	116,0	102,84	159,04
F da interação				
P x S	2,66 [*]	1,92 ^{ns}	0,81 ^{ns}	1,95 ^{ns}
P x SS	0,69 ^{ns}	1,04 ^{ns}	1,57 [*]	0,23 ^{ns}
S x SS	0,66 ^{ns}	5,28 ^{**}	1,41 ^{ns}	1,06 ^{ns}
P x S x SS	0,65 ^{ns}	1,29 ^{ns}	1,17 ^{ns}	0,67 ^{ns}

^{ns} não significativo em nível de 5% de probabilidade, de acordo com o teste de F; ^{*} significativo a 5%, ^{**} 1% e ^{***} 0,5 % de probabilidade de acordo com o teste F.

Tabela 3 – Resumo da análise de variância e teste de médias para a temperatura da câmara de amostragem (T_{ch}) incidente em cafeeiros ‘IAC Obatã’ em função da espécie de sombreamento, distribuição espacial das árvores e face de exposição solar em épocas de alta (ADE) e baixa (BDE) demanda energética do cafeeiro. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.

	ADE		BDE	
	° C		° C	
	07:00 – 09:00	11:00 – 13:00	07:00 – 09:00	11:00 – 13:00
Parcela (P)				
Teste F	1,15 ^{ns}	1,15 ^{ns}	2,13 ^{ns}	6,02 ^{ns}
DMS (5%)	3,4	3,8	9,3	3,7
Subparcela (S)				
Teste F	6,76 ^{**}	6,76 ^{**}	5,56 ^{***}	3,66 [*]
DMS (5%)	3,3	2,8	3,2	2,5
Sub-subparcela (SS)				
Teste F	1,95 ^{ns}	1,95 ^{ns}	64,31 ^{***}	2,92 ^{ns}
DMS (5%)	0,8	0,7	0,3	0,5
F da interação				
P x S	1,28 ^{ns}	1,28 ^{ns}	1,34 ^{ns}	0,36 ^{ns}
P x SS	0,76 ^{ns}	0,76 ^{ns}	2,26 ^{ns}	0,85 ^{ns}
S x SS	2,57 ^{ns}	2,57 ^{ns}	1,85 ^{ns}	1,49 ^{ns}
P x S x SS	1,05 ^{ns}	1,05 ^{ns}	1,18 ^{ns}	0,66 ^{ns}

^{ns} não significativo em nível de 5% de probabilidade, de acordo com o teste de F; * significativo a 5%, ** 1% e *** 0,5 % de probabilidade de acordo com o teste F.

Tabela 4 – Resumo da análise de variância e teste de médias para a transpiração (E) de cafeeiros ‘IAC Obatã’ em função da espécie de sombreamento, distribuição espacial das árvores e face de exposição solar em épocas de alta (ADE) e baixa (BDE) demanda energética do cafeeiro. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.

	ADE		BDE	
	mmol.m ⁻² .s ⁻¹		mmol.m ⁻² .s ⁻¹	
	07:00 – 09:00	11:00 – 13:00	07:00 – 09:00	11:00 – 13:00
Parcela (P)				
Teste F	1,93 ^{ns}	7,75 ^{ns}	4,74 ^{ns}	6,36 ^{ns}
DMS (5%)	1,24	1,51	0,46	0,78
Subparcela (S)				
Teste F	4,46 ^{**}	5,04 ^{**}	1,16 ^{ns}	0,67 ^{ns}
DMS (5%)	0,85	1,55	0,59	1,82
Sub-subparcela (SS)				
Teste F	2,02 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,09 ^{ns}	6,56 [*]
DMS (5%)	0,25	0,29	0,33	0,51
F da interação				
P x S	1,13 ^{ns}	1,47 ^{ns}	3,38 [*]	0,80 ^{ns}
P x SS	1,23 ^{ns}	2,51 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,30 ^{ns}
S x SS	1,55 ^{ns}	4,87 ^{**}	1,71 ^{ns}	0,28 ^{ns}
P x S x SS	0,97 ^{ns}	0,46 ^{ns}	1,29 ^{ns}	0,84 ^{ns}

^{ns} não significativo em nível de 5% de probabilidade, de acordo com o teste de F; * significativo a 5%, ** 1% e *** 0,5 % de probabilidade de acordo com o teste F.

Tabela 5 – Resumo da análise de variância e teste de médias para a Taxa de assimilação de Carbono (A) de cafeeiros ‘IAC Obatã’ em função da espécie de sombreamento, distribuição espacial das árvores e face de exposição solar em épocas de alta (ADE) e baixa (BDE) demanda energética do cafeeiro. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.

	ADE		BDE	
	----- $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ -----			
	07:00 – 09:00	11:00 – 13:00	07:00 – 09:00	11:00 – 13:00
Parcela (P)				
Teste F	0,85 ^{ns}	6,70 ^{ns}	0,23 ^{ns}	3,00 ^{ns}
DMS (5%)	1,48	1,07	3,70	2,64
Subparcela (S)				
Teste F	2,88*	0,90 ^{ns}	2,04 ^{ns}	2,61 ^{ns}
DMS (5%)	2,09	1,69	1,24	1,16
Sub-subparcela (SS)				
Teste F	8,04**	5,70 *	1,98 ^{ns}	0,01 ^{ns}
DMS (5%)	0,60	0,50	0,50	0,57
F da interação				
P x S	0,29 ^{ns}	0,66 ^{ns}	1,65 ^{ns}	2,50 *
P x SS	0,09 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,68 ^{ns}
S x SS	1,07 ^{ns}	5,03 **	0,45 ^{ns}	0,57 ^{ns}
P x S x SS	1,03 ^{ns}	3,03 *	0,27 ^{ns}	0,62 ^{ns}

^{ns} não significativo em nível de 5% de probabilidade, de acordo com o teste de F; * significativo a 5%, ** 1% e *** 0,5 % de probabilidade de acordo com o teste F.

Tabela 6 – Resumo das análises de variâncias e teste de médias para altura de planta (H), diâmetro de copa (CD) e diâmetro do ramo ortotrópico (DO) de cafeeiro ‘IAC Obatã’ em função das espécies e da distribuição espacial das árvores. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.

	H	DC	DO
	---- m ----	---- m ----	----mm ---
Parcela (P)			
Teste F	21,06 *	10,63 *	3,19 ^{ns}
DMS (5%)	0,15	0,23	4,80
Subparcela (S)			
Teste F	3,67 *	3,53 *	2,75 ^{ns}
DMS (5%)	0,21	0,23	5,68
F da interação			
P x S	1,89 ^{ns}	2,35 ^{ns}	3,21 *

^{ns} não significativo em nível de 5% de probabilidade de acordo com o teste de F, * significativo a 5% de probabilidade de acordo com o teste F.

Tabela 7 – Resumo das análises de variâncias e teste de médias para o comprimento de ramo plagiotrópico (CR), número de rosetas por ramo plagiotrópico (R) e distância entre rosetas (DR) de cafeeiro ‘IAC Obatã’ em função das espécies arbóreas, da distribuição espacial no cafezal e das faces de exposição solar. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.

	CR ---- cm ----	R -----	DR ---- mm ----
Parcela (P)			
Teste F	7,67 *	0,45 ^{ns}	1,02 ^{ns}
DMS (5%)	7,52	3,13	3,13
Subparcela (S)			
Teste F	1,13 ^{ns}	3,75 *	6,35 **
DMS (5%)	9,07	1,70	1,70
Sub-subparcela (SS)			
Teste F	17,92 ***	0,95 ^{ns}	1,29 ^{ns}
DMS (5%)	3,89	0,48	0,48
F da interação			
P x S	2,34 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,37 ^{ns}
P x SS	0,47 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,52 ^{ns}
S x SS	1,05 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,21 ^{ns}
P x S x SS	0,37 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,60 ^{ns}

^{ns} não significativo em nível de 5% de probabilidade, de acordo com o teste de F; * significativo a 5%, ** 1% e *** 0,5 % de probabilidade de acordo com o teste F.

Tabela 8 – Resumo das análises de variâncias e teste de média para a produção de frutos cereja, boia e total (cereja + boia) por face de exposição solar por planta de cafeeiro ‘IAC Obatã’ em função das espécies arbóreas e da distribuição espacial no cafezal. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.

	Cereja		Boia		Total	
	L planta ⁻¹	Kg planta ⁻¹	L planta ⁻¹	Kg planta ⁻¹	L planta ⁻¹	Kg planta ⁻¹
Parcelas (P)						
Teste F	5,13 ^{ns}	5,22 ^{ns}	3,18 ^{ns}	3,79 ^{ns}	3,80 ^{ns}	4,32 ^{ns}
DMS (5%)	0,132	0,087	0,702	0,282	0,133	0,087
Subparcelas (S)						
Teste F	6,14 **	6,38 **	4,71 **	4,74 **	6,80 **	6,81 **
DMS (5%)	0,160	0,102	0,509	0,233	0,160	0,102
Sub-subparcelas (SS)						
Teste F	10,81**	10,06 **	34,37 ***	28,40 ***	57,80 *	1,14 ^{ns}
DMS (5%)	0,037	0,023	0,117	0,052	0,037	0,023
F da interação						
P x S	0,34 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,22 ^{ns}
P x SS	0,98 ^{ns}	0,85 ^{ns}	2,98 ^{ns}	2,82 ^{ns}	1,35 ^{ns}	0,66 ^{ns}
S x SS	1,48 ^{ns}	1,31 ^{ns}	1,13 ^{ns}	1,15 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,11 ^{ns}
P x S x SS	0,92 ^{ns}	0,73 ^{ns}	1,21 ^{ns}	1,09 ^{ns}	1,67 ^{ns}	1,30 ^{ns}

^{ns} não significativo em nível de 5% de probabilidade, de acordo com o teste de F; * significativo a 5%, ** 1% e *** 0,5 % de probabilidade de acordo com o teste F.

Tabela 9 – Resumo das análises de variâncias e teste de médias para produção por planta e produtividade por hectare de grãos nos estádios cereja, boia e total (cereja + boia) de cafeeiros 'IAC Obatã' em função das espécies arbóreas, distribuição espacial e face de exposição solar no cafezal. Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.

Parcela (P)	Cereja			Boia			Total		
	Kg planta ⁻¹	Kg ha ⁻¹	Sacas ha ⁻¹	Kg planta ⁻¹	Kg ha ⁻¹	Sacas ha ⁻¹	Kg planta ⁻¹	Kg ha ⁻¹	Sacas ha ⁻¹
Teste F	6,53 ^{ns}	6,53 ^{ns}	6,53 ^{ns}	5,43 ^{ns}	5,43 ^{ns}	5,43 ^{ns}	5,72 ^{ns}	5,72 ^{ns}	5,72 ^{ns}
DMS (5%)	0,043	128,17	2,03	0,091	260,04	4,32	0,132	377,70	6,29
Subparcela (S)									
Teste F	6,75 ^{***}	6,75 ^{***}	6,75 ^{***}	6,23 ^{**}	6,23 ^{**}	6,23 ^{**}	8,19 ^{***}	8,19 ^{***}	8,19 ^{***}
DMS (5%)	0,050	142,48	2,37	0,073	207,94	3,47	0,108	309,00	5,15
Sub-subparcela (SS)									
Teste F	10,44 ^{**}	10,44 ^{**}	10,44 ^{**}	36,90 ^{***}	35,58 ^{***}	35,58 ^{***}	11,74 ^{**}	9,46 ^{**}	9,46 ^{**}
DMS (5%)	0,011	32,37	0,54	0,016	44,76	0,75	0,017	48,72	0,81
F da interação									
P x S	0,34 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,40 ^{ns}
P x SS	0,98 ^{ns}	0,98 ^{ns}	0,98 ^{ns}	5,49 ^{**}	5,49 ^{**}	5,49 ^{**}	2,63 ^{ns}	2,63 ^{ns}	2,63 ^{ns}
S x SS	1,81 ^{ns}	1,81 ^{ns}	1,81 ^{ns}	2,86 [*]	2,86 [*]	2,86 [*]	0,48 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,48 ^{ns}
P x S x SS	0,82 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,82 ^{ns}	1,85 ^{ns}	1,85 ^{ns}	1,85 ^{ns}	1,95 ^{ns}	1,95 ^{ns}	1,95 ^{ns}

^{ns} não significativo em nível de 5% de probabilidade, de acordo com o teste de F; * significativo a 5%, ** 1% e *** 0,5 % de probabilidade de acordo com o teste F.

Tabela 10 – Resumos das análises de variâncias e teste de médias para massa de 1.000 frutos cereja e de 1.000 grãos provenientes de frutos boia e cereja em função das espécies arbóreas, de sua distribuição espacial no cafezal e face de exposição solar. Santo Antônio do Jardim SP, 2018.

Parcela (P)	Massa de 1.000 frutos cereja	Massa 1.000 grãos	
		Boia	Cereja
(g)			
Teste F	0,62 ^{ns}	9,22 [*]	9,09 [*]
DMS (5%)	173,66	5,70	4,99
Subparcela (S)			
Teste F	1,02 ^{ns}	2,28 ^{***}	3,87 [*]
DMS (5%)	110,09	9,68	7,89
Sub-subparcela (SS)			
Teste F	0,31 ^{ns}	0,09 ^{ns}	2,87 ^{ns}
DMS (5%)	45,95	2,12	2,54
F da interação			
P x S	0,64 ^{ns}	2,28 ^{ns}	0,94 ^{ns}
P x SS	0,54 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,04 ^{ns}
S x SS	0,90 ^{ns}	1,71 ^{ns}	0,14 ^{ns}
P x S x SS	0,27 ^{ns}	1,96 ^{ns}	0,90 ^{ns}

^{ns} - médias com diferenças não significativas para à 5% de probabilidade, * médias com diferenças significativas para o à 5% de probabilidade; ** médias com diferenças significativas à 1% de probabilidade; *** médias com diferenças significativas à 0,5% de probabilidade.

Tabela 11 – Resumos das análises de variâncias e teste de média para retenção de grãos nas peneiras de grãos provenientes de frutos boia e cereja e diferentes espécie arbóreas de sombreamento, em função da distribuição espacial no cafezal, face de exposição solar e crivo da peneira nº 18 (18/62”, malha de 7,37mm), 15 (15/62”, malha de 6,15mm) e 12 (12/62”, malha de 4,92mm). Santo Antônio do Jardim, SP, 2018.

Parcela (P)						
Teste F	2,46 ^{ns}	0,43 ^{ns}	1,27 ^{ns}	2,44 ^{ns}	1,00 ^{ns}	0,23 ^{ns}
DMS (5%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Subparcela (S)						
Teste F	0,14 ^{ns}	0,50 ^{ns}	4,90 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,68 ^{ns}	1,62 ^{ns}
DMS (5%)	3,25	3,27	2,36	1,75	1,08	0,03
Sub-subparcela (SS)						
Teste F	351,58 ^{***}	340,12 ^{***}	806,00 ^{***}	1339,53 ^{***}	2028,73 ^{***}	1947,20 ^{ns}
DMS (5%)	3,15	4,58	2,87	2,88	2,36	2,17
F da interação						
P x S	3,36 ^{ns}	1,12 ^{ns}	1,15 ^{ns}	0,19 ^{ns}	1,08 ^{ns}	0,65 ^{ns}
P x SS	1,59 ^{ns}	1,53 ^{ns}	1,61 ^{ns}	1,55 ^{ns}	11,17 ^{***}	2,38 ^{ns}
S x SS	0,40 ^{ns}	0,69 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,04 ^{ns}	4,01 [*]	0,42 ^{ns}
P x S x SS	0,81 ^{ns}	1,21 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,50 ^{ns}	1,02 ^{ns}

ns - médias com diferenças não significativas para à 5% de probabilidade, * médias com diferenças significativas para o à 5% de probabilidade; ** médias com diferenças significativas à 1% de probabilidade; *** médias com diferenças significativas à 0,5% de probabilidade.